



SKRIPSI – TK141581

**PROSES KATALITIK PIROLISIS UNTUK CRACKING
BITUMEN DARI ASBUTON DENGAN KATALIS ZEOLIT
ALAM**

Oleh :

Eldira Nindri Wena Pertamina

NRP. 2312 100 038

Azka Afuza Faris Nugroho

NRP. 2312 100 091

Dosen Pembimbing 1:

Dr. Yeni Rahmawati, S.T., M.T.

NIP. 197610202005012001

Dosen Pembimbing 2:

Dr. Ir. Susianto, DEA

NIP. 196208201989031004

JURUSAN TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA 2016



FINAL PROJECT – TK141581

**CATALYTIC PYROLYSIS PROCESS FOR BITUMEN
CRACKING FROM ASBUTON WITH NATURAL
ZEOLITE AS CATALYST**

**Proposed by :
Eldira Nindri Wena Pertamina
NRP. 2312 100 038**

**Azka Afuza Faris Nugroho
NRP. 2312 100 091**

**Advisor 1:
Dr. Yeni Rahmawati, S.T., M.T.
NIP. 197610202005012001**

**Advisor 2:
Dr. Ir. Susianto, DEA
NIP. 196208201989031004**

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2016**

LEMBAR PENGESAHAN

PROSES KATALITIK PIROLSIS UNTUK CRACKING BITUMEN DARI ASBUTON DENGAN KATALIS ZEOLIT ALAM

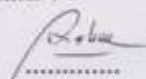



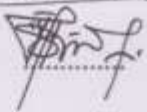
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kimia
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

Eldira Nindri Wena Pertami
Azka Afuza Faris Nugroho

NRP : 2312 100 038
NRP : 2312 100 091

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Yeni Rahmawati, S.T., MT  (Pembimbing I)
2. Dr. Ir. Susianto, DEA  (Pembimbing II)
3. Prof. Dr.Ir. Ali Altway, M.S  (Penguji I)
4. Prof. Dr. Ir. Sugeng W., M.Eng  (Penguji II)
5. Siti Nurkhamidah, S.T., M.S., Ph.D  (Penguji III)



Surabaya
Juli, 2016

PROSES KATALITIK PIROLSIS UNTUK CRACKING BITUMEN DARI ASBUTON DENGAN KATALIS ZEOLIT ALAM

Dosen Pembimbing : Dr. Yeni Rahmawati, S.T., M.T.

Dr. Ir. Susianto, DEA.

Disusun oleh : Edlira Nindri Wena Pertami NRP : 2312 100 038

Azka Afuza Faris Nugroho NRP : 2312 100 091

ABSTRAK

Aspal Buton (Asbuton) adalah aspal alam yang terkandung dalam deposit batuan yang terdapat di pulau Buton dan sekitarnya. Dengan jumlah deposit Asbuton yang mencapai 650 juta ton, menjadikan Indonesia sebagai negara penghasil aspal alam terbesar di dunia. Selama ini asbuton hanya dimanfaatkan sebagai bahan campuran aspal, dalam bentuk asbuton halus, mikro asbuton, asbuton butir, dan asbuton yang diekstrak sebagian. Padahal bitumen dalam asbuton dapat berpotensi di *cracking* menjadi hidrokarbon (*heavy oil*) dan dapat menjadi suatu bahan bakar cair yang dapat digunakan untuk memenuhi permintaan bahan bakar. Dalam lingkup penelitian berbagai metode digunakan untuk memisahkan bitumen dari asbuton, yakni metode ekstraksi dengan pelarut organik dan modifikasi dari *hot water process*. Namun penelitian tentang konversi bitumen menjadi bahan bakar cair masih jarang dilakukan. Sehingga perlu dilakukan penelitian tentang proses *cracking* bitumen dari asbuton melalui proses pirolisis dengan menggunakan katalis zeolit alam. Pada penelitian ini akan mempelajari pengaruh suhu pirolisis dan rasio katalis dengan Asbuton terhadap persentase konversi Asbuton. Presentase konversi Asbuton ditunjukkan dengan persentase yield masing-masing produk cair, produk gas, dan bitumen yang tidak terpirolisis.

Pirolisis bitumen yang terkandung dalam asbuton dilakukan secara *semi-continue* dalam reaktor pirolisis pada kondisi vakum dengan variable suhu pirolisis sebesar 300°C, 350°C, 400°C, 450°C, dan 500°C. sedangkan zeolit klipnotilolit sebagai katalis divariasi sebesar 5%, 7%, dan 9% dari berat *feed* asbuton. *Feed* asbuton sebanyak 228 gram dicampur dengan katalis sesuai perbandingan kemudian dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis. *Heater*

dioperasikan sesuai suhu yang diinginkan kemudian di vakum dengan menggunakan pompa vakum. Gas yang terbentuk akan dialirkan melalui kondensor yang dijaga suhunya pada 25°C. Gas yang terkondensasi (produk cair) akan tertampung dalam erlenmeyer, sedangkan gas yang tidak terkondensasi (produk gas) akan ditampung dalam kantong gas. Kemudian %yield produk masing-masing dianalisa.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode pirolisis dapat digunakan untuk *cracking* bitumen yang terkandung dalam asbuton dengan kondisi terbaik untuk mendapatkan produk cair tanpa penambahan katalis sebesar 450°C dengan yield produk cair sebesar 46.154%. Zeolit alam dapat digunakan sebagai katalis untuk *cracking* bitumen dalam asbuton. Kenaikan persentase zeolit yang digunakan pada suhu pirolisis sebesar 450°C berbanding lurus dengan peningkatan yield produk cair. Yield produk cair tertinggi sebesar 61.531% diperoleh dalam kondisi suhu pirolisis 350°C dengan penambahan 9% katalis.

Kata Kunci : Asbuton, Bahan Bakar Cair, Bitumen, *Cracking*, Vakum Katalitik Pirolisis.

CATALYTIC PYROLYSIS PROCESS FOR BITUMEN CRACKING FROM ASBUTON WITH NATURAL ZEOLITE AS CATALYST

Adviser : Dr. Yeni Rahmawati, S.T., M.T.
Dr. Ir. Susianto, DEA.

Proposed By : Eldira Nindri Wena Pertamina NRP : 2312 100 038
Azka Afuza Faris Nugroho NRP : 2312 100 091

ABSTRACT

Buton Asphalt (Asbuton), is a natural asphalt that contained in rock deposit located in Buton Island and surrounding areas. Asbuton with reserves reached 650 million tons, making Indonesia as the largest natural asphalt producing country in the world. During this time, Asbuton only be used as a mixture of bitumen, in the form of fine Asbuton, micro Asbuton, grains Asbuton, and the extracted Asbuton. Whereas, bitumen that contained in Asbuton could potentially be cracking into hydrocarbon (Heavy oil) and can be produce as a liquid fuel that can be used to meet the energy demand. Within the scope of research the various method to separate the bitumen from Asbuton such as using organic solvent and modification of hot water process. However, research on the conversion of bitumen into liquid fuel is still rare. So, it is necessary to do research about the cracking process Bitumen from Asbuton through the pyrolysis process by using natural zeolite as catalyst. On the research will study the effect of pyrolysis temperature and the mass ratio of the Asbuton with catalyst against Asbuton conversion percentage. Asbuton conversion percentage indicated by the yield percentage of each liquid and gaseous products with the addition of a catalyst or without a catalyst.

Pyrolysis bitumen that contained in asbuton has been done by semi-continue method using vacuum pyrolysis reactor with operation temperature 300°C, 350°C, 400°C, 450°C, and 500°C. Zeolite Klipnotilolit as catalyze that used on this process are 5%, 7%, and 9% from total weight of asbuton. 228 gram of asbuton as a feed mixed with catalyze in accordance the desire ratio. After being mixed, asbuton and catalyze inserted into pyrolysis reactor. Then,

heater set into desire temperature and turned on the vacuum pump. Gas that formed from the process will be through the condenser with temperature 25°C. Gas that condensed (liquid product) will be collected in erlenmeyer, while uncondensed gas (gas product) will be collected in gas holder. After the pyrolysis process completed, yield every product will be analyzed.

From this research shown that pyrolysis method can be used to crack bitumen that contained in asbuton with best operating condition to get liquid product as much as possible by 46.154% without the addition of catalyze is using 450°C as pyrolysis temperature. Natural zeolite can be used as catalyze for this pyrolysis process. Increased the amount of catalyze that used will also increase the yield of liquid product. The biggest yield of liquid product by 61.531% reached by using 350°C as pyrolysis temperature with the addition of 9% zeolite as catalyze.

Key Words: Asbuton, Liquid Fuels, Bitumen, Cracking, Vacuum Catalytic Pyrolysis.

DAFTAR ISI

Abstrak	v
Kata Pengantar	ix
Daftar Isi	x
Daftar Gambar	xii
Daftar Tabel	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Penelitian	4
I.3 Ruang Lingkup Penelitian	4
I.4 Tujuan Penelitian	5
I.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Aspal Batu Buton (Asbuton)	6
II.2 Bitumen Aspan Buton	9
II.3 Metode Pirolisis	10
II.4 Reaksi Pirolisis untuk Cracking Bitumen	12
II.5 Katalis	14
II.6 Katalis Zeolit	16
II.7 Penelitian-penelitian Bitumen yang Sudah Dilakukan	20
BAB III METODE PENELITIAN	
III.1 Garis Besar Penelitian	23
III.2 Langkah – Langkah Penelitian	24
III.3 Bahan yang Digunakan	27
III.4 Alat yang Digunakan	28
III.5 Variabel Penelitian	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV.1 Pengaruh Suhu Pirolisis Terhadap % Yield Masing-Masing Bitumen Tidak Terpirolisis, Produk Cair, Dan Produk Gas	30
IV.2 Pengaruh Penambahan Katalis Pada %Yield Produk Cair, Produk Gas, Dan Bitumen Yang Tidak Terpirolisis	32

IV.3 Pengaruh Suhu Pirolisis Dan Jumlah Penambahan Katalis
Pada %Yield Produk Cair

34

BAB V KESIMPULAN

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR NOTASI

APPENDIKS

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Peta sebaran endapan aspal di Pulau Buton	6
Gambar II.2 Skema reaksi pirolisis untuk <i>cracking</i> bitumen	13
Gambar III.1 Langkah – langkah penelitian	23
Gambar III.2 <i>Flowchart</i> proses pirolisis dan analisis data	25
Gambar III.3 Skema percobaan pirolisis bitumen dalam asbuton	27
Gambar IV.1 Grafik pengaruh suhu pirolisis terhadap persen (%) yield produk cair, produk gas, dan bitumen yang tidak terpirolisis	31
Gambar IV.2 Grafik pengaruh penambahan katalis zeolit alam dalam proses pirolisis bitumen dalam asbuton pada suhu operasi 450°C	33
Gambar IV.3 Grafik pengaruh penambahan katalis pada tiap suhu pirolisis terhadap yield produk cair pada tiap penambahan katalis	35

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Perkiraan deposit asbuton di daerah Lawele dan sekitarnya	6
Tabel II.2 Sifat fisik aspal asbuton dari Kabungka dan Lawele	7
Tabel II.3 Komponen kimia aspal Kabungka dan Lawele	8
Tabel II.4 Komposisi mineral asbuton Kabungka dan Lawele	8
Tabel II.5 Sifat – sifat senyawa penyusun bitumen aspal alam	10
Tabel II.6 Mekanisme pirolisis menurut suhu proses	13
Tabel II.7 Perbandingan elemen katalis heterogen dan homogen	16
Tabel II.8 Klasifikasi mineral zeolit alam	17
Tabel II.9 Penelitian – penelitian bitumen yang sudah dilakukan	20
Tabel IV.1 Suhu pirolisis tiap penambahan jumlah katalis pada proses pirolisis bitumen dalam asbuton	36

DAFTAR NOTASI

m	Massa	Gram
V	Volume Larutan	ml
T	Temperatur	°C

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pada tahun 2014, berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2014), pertumbuhan penduduk Indonesia mencapai 252.200.000 jiwa. Pesatnya pertumbuhan jumlah penduduk menuntut semakin meningkatnya kebutuhan energi yang sangat dibutuhkan dalam bidang transportasi, industri, dan rumah tangga. Bensin (*gasoline*), minyak tanah (*kerosene*) maupun minyak solar (*diesel oil*) merupakan bahan bakar fosil yang banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi. Berdasarkan Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, pada tahun 2011, kebutuhan energi fosil tercatat sebesar 10.668 juta TOE atau 82% dari total kebutuhan, dan diperkirakan akan meningkat menjadi sebesar 14.898 juta TOE pada tahun 2035. Pada periode tahun 2011 sampai dengan 2035, kebutuhan batubara mengalami peningkatan terbesar dibanding bahan bakar fosil lainnya dan mulai tahun 2020 mengambil alih peran minyak atau terbesar dalam bauran energi primer. Pada tahun 2011, penggunaan batubara sebesar 3.773 juta TOE dan meningkat 44% pada tahun 2035.

Pemakaian bahan bakar yang kian meningkat harus diimbangi dengan kemampuan penyediaannya karena bahan bakar fosil merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui. Namun, berdasarkan Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, produksi minyak bumi diproyeksikan akan mengalami penurunan sekitar 0,4% dari tingkat sekarang. Sejalan dengan meningkatnya kebutuhan BBM (premium, avtur, minyak solar/diesel, dan minyak bakar) dan terbatasnya kapasitas kilang dalam negeri, impor BBM selama kurun waktu 2013 – 2050 mengalami peningkatan. Di samping itu, cadangan batubara nasional relatif besar dibandingkan minyak dan gas bumi, batubara diharapkan menjadi andalan sumber energi Indonesia masa mendatang. Pasokan batubara masa mendatang berangsur-angsur akan menggantikan minyak bumi sehingga diperkirakan akan meningkat dari 25% pada tahun 2013 menjadi 41% pada tahun 2050. Namun, keberadaan batu bara sebagai bahan bakar fosil pun akan habis dari tahun ketahun.

Hal ini mendorong upaya pencarian bahan bakar alternatif sebagai pengganti suplai energi berbasis fosil. Berdasarkan Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral,

Pada tahun 2011, penggunaan energi baru dan terbarukan tercatat sebesar 1.727 juta TOE atau 13% dari total penggunaan energi. Diperkirakan, sampai dengan tahun 2035, kebutuhan energi baru terbarukan sesuai skenario Kebijakan Baru akan meningkat sebesar 44%. Beberapa energi baru dan terbarukan yang dicanangkan oleh kementerian energi dan sumber daya mineral antara lain energi terbarukan (panas bumi, tenaga air, BBN, biomassa, surya dan angin) dan energi yang tergolong baru bagi Indonesia diantaranya nuklir, syngas dan gas metan batubara.

Di Pulau Buton terdapat cadangan aspal alam yang terkandung dalam deposit batuan mencapai 650 juta ton. Hal ini menjadikan Indonesia sebagai negara penghasil aspal alam terbesar di dunia. Karena jumlahnya yang melimpah, asbuton (aspal buton) berpotensi untuk dikembangkan menjadi salah satu sumber bahan bakar alternatif. Kadar aspal yang terkandung dalam asbuton bervariasi, antara 10 – 40%. Ini merupakan kadar aspal yang cukup besar dibandingkan dengan kadar aspal alam negara-negara lain seperti Amerika (12 – 15%) dan Prancis (6 – 10%). Dari segi mutu, asbuton dirasa masih kalah bersaing dengan aspal minyak. Selama ini asbuton hanya dimanfaatkan sebagai bahan campuran aspal untuk pembuatan jalan raya, dalam bentuk asbuton halus, mikro asbuton, asbuton butir, dan asbuton yang diekstrak sebagian. Sedangkan pemanfaatan bitumen sebagai bahan bakar cair masih belum banyak diketahui potensinya oleh banyak pihak.

Ma dan Li (2012) menyebutkan beberapa metode yang diusulkan untuk *recovery* energi dari *oil sand* adalah ekstraksi air panas (*hot water process*); ekstraksi air dingin (*cold water process*); ekstraksi superkritis; ekstraksi pelarut dan pirolisis. *Hot water process* digunakan di Kanada untuk *recovery* bitumen komersial dari *oil sand*. Namun karena sifat yang dimiliki asbuton berkebalikan dari sifat *oil sand* Kanada, maka ekstraksi air panas tidak cocok untuk asbuton. Asbuton adalah jenis *oil sand* minyak basah menyebabkan kekuatan mekanik dan tegangan asbuton lebih tinggi dari *oil sand* di daerah lain. Bentuk eksternal asbuton ini mirip dengan *oil shale*.

Selain proses *hot water* dalam lingkup penelitian asbuton juga dilakukan ekstraksi dengan pelarut organik. Menurut Ma dan Li (2012) ekstraksi pelarut adalah proses di mana aspal dipisahkan dari pasir menggunakan pelarut tertentu. Metode ini hanya dapat dilakukan dalam skala laboratorium. Belum ada proses ekstraksi pelarut yang dikomersialisasikan di dunia saat ini karena *recovery* pelarut yang sulit dan kurang ekonomis. Penelitian Pengfe Liu dkk. (2014) mempelajari tentang *thermogravimetric* dari

karakteristik dan kinetika pirolisis asbuton. Suhu akhir pirolisis yang digunakan sebesar 550°C. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pirolisis merupakan metode yang efektif digunakan untuk memisahkan dan *recovery* bitumen dari batuan mineralnya (*sandstone host*).

Dalam penelitian Ma dan Li (2012) melakukan proses pirolisis dari hasil ekstraksi asbuton, disebutkan kandungan bitumen dalam asbuton dalam penelitian ini mencapai 30%. Percobaan dilakukan dengan suhu akhir pirolisis 600°C, berdasarkan hasil penelitian pada suhu 380 - 480°C menghasilkan yield produk *liquid* relatif baik, gas, dan semi-coke. Sedangkan pada suhu 480 - 500 °C kandungan produk *liquid* menjadi konstan. Bentuk yang mudah menguap (*volatile*) bahan organik terbentuk dari proses pirolisis maupun dekomposisi karbonat, bahan *volatile* dari asbuton sangat tinggi hal ini menunjukkan bahwa kandungan karbonatnya tinggi. Kesimpulan dari penelitian ini adalah pirolisis dengan energi aktivasi rendah terutama pada perubahan hidrokarbon teradsorpsi dan pecahnya ikatan kimia lemah, seperti, ikatan C - O dan ikatan C - S. Distilasi simulasi pada produk *liquid* menunjukkan fraksi dengan titik didih di bawah 180°C adalah fraksi bensin, fraksi diesel berkisar dari 180°C sampai 360°C, dan fraksi yang lebih tinggi dari 360°C adalah minyak berat. Hasil pada penelitian ini menggambarkan bahwa fraksi utama dalam produk *liquid* dari pirolisis adalah diesel, sekitar 52%. Sedangkan yield produk gas dari pirolisis kurang dari 5%.

Selain itu, Zhao dan Yu (2011) melakukan penelitian mengenai reaksi *thermal hydrocracking* dan *catalitic hydrocracking* dengan katalis NiMo/ γ -Al₂O₃ dari campuran pentana tak larut dari Athabasca bitumen pada 430 °C. Dalam penelitian ini disebutkan residu bitumen mengandung sejumlah besar makromolekul seperti asphaltenes. Konsentrasi tinggi hetero-atom, logam, karbon dan senyawa polar di asphaltenes mengganggu upgrade dan konversi bitumen dengan adanya proses seperti pembentukan *coke* dan deaktivasi katalis. Hasil penelitian ini dengan membandingkan antara *thermal hydrocracking*, *catalitic hydrocracking*, yang menunjukkan bahwa peningkatan produksi produk cair dan menghambat pembentukan *coke* secara efektif.

Sedangkan Junaid dkk. (2008) meneliti tentang *cracking* Athabasca bitumen dengan menggunakan katalis zeolit alam jenis chabazite dan klipnotilolit. Hasil yang didapat dalam penelitian ini adalah zeolit alam dapat memecah molekul berat terutama asphaltenes dan *light* hidrokarbon seperti pentana dan heksana dapat terekstrak.

Aminati dan Nugroho (2016) meneliti tentang *cracking* bitumen dari asbuton dengan menggunakan katalis zeolit klipnotiolit maupun tidak pada beberapa suhu operasi. Hasil produk cair tertinggi didapatkan pada suhu 350°C tanpa penambahan katalis dengan menghasilkan persen (%) produk cair yaitu 53,1%, sedangkan dengan penambahan katalis zeolit 5% pada suhu 400°C menghasilkan yield produk cair yaitu sebesar 65,31%. Oleh karena itu, penambahan katalis dapat digunakan untuk meningkatkan massa produk cair pada suhu operasi tinggi.

Berdasarkan penelitian-penelitian di atas, dapat diambil hipotesa bahwa katalitik pirolisis menggunakan katalis zeolit dapat dilakukan untuk proses *cracking* bitumen di dalam asbuton. Studi mengenai proses pirolisis langsung tanpa ekstraksi untuk *cracking* bitumen masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui potensi konversi bitumen menjadi bahan bakar cair. Dalam penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi terbaik yang diperlukan untuk mengkonversi bitumen menjadi bahan bakar cair.

I.2. Rumusan Penelitian

Berdasarkan hasil penelitian Aminati dan Nugroho (2016) tentang *cracking* bitumen dengan menggunakan metode pirolisis menghasilkan yield produk cair terbaiknya yaitu sebesar 65,31% dari massa bitumen yang terkandung dalam asbuton sebesar 18.04%. Hasil penelitian ini masih memerlukan pengembangan lebih lanjut dengan variasi variabel yaitu temperatur dan komposisi katalis untuk mengetahui %yield produk cair yang lebih tinggi. Dimana pada penelitian Aminati dan Nugroho (2016) menggunakan variabel suhu 250°C, 300°C, 350°C, dan 400°C dengan persen (%) penambahan katalis sebesar 1%, 3%, dan 5% serta tanpa penambahan katalis. Untuk itu rumusah masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh suhu pirolisis terhadap % yield masing-masing bitumen yang tidak terpirolisis, produk cair dan produk gas?
2. Bagaimana pengaruh penambahan katalis pada % yield produk cair, produk gas, dan bitumen yang tidak terpirolisis?
3. Bagaimana pengaruh suhu pirolisis dan jumlah penambahan katalis pada % yield produk cair?

I.3. Ruang Lingkup Penelitian

Pada penelitian ini masalah dibatasi pada hal – hal berikut :

1. Sampel batuan Asbuton yang digundakan berasal dari daerah Lawele, Sulawesi Tenggara
2. Sampel batuan Asbuton mula-mula ukurannya diseragamkan 10 - 20 mesh (2 mm - 0,841 mm) menggunakan ayakan dan akan diekstraksi menggunakan metode ekstraksi soklet untuk mengetahui kadar awal bitumen
3. Proses *cracking* bitumen dari batuan Asbuton menggunakan reaktor pirolisis yang dilengkapi oleh kondensor dengan kondisi vakum menggunakan pompa vakum yang dioperasikan secara *semi-continue*
4. Proses yang digunakan adalah proses katalitik pirolisis dengan katalis zeolite alam klipnotilolit.

I.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mempelajari pengaruh suhu pirolisis terhadap % yield masing-masing bitumen yang tidak terpirolisis, produk cair dan produk gas.
2. Mempelajari pengaruh penambahan katalis pada % yield produk cair, produk gas, dan bitumen yang tidak terpirolisis.
3. Mempelajari pengaruh suhu pirolisis dan jumlah penambahan katalis pada % yield produk cair.

I.5 Manfaat Penelitian

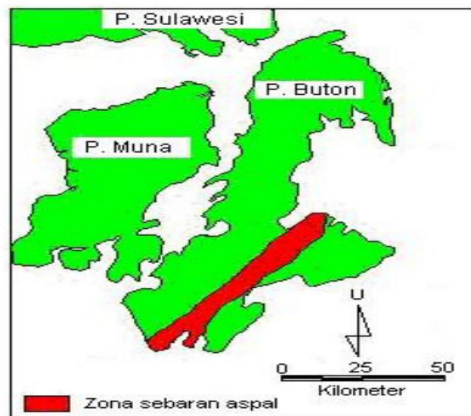
Dari penelitian ini diharapkan dapat mengetahui kondisi terbaik yang diperlukan untuk mengkonversi bitumen menjadi bahan bakar cair dengan %yield semaksimal mungkin.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Aspal Batu Buton (Asbuton)

Aspal Batu Buton atau seringkali disebut asbuton adalah aspal alam yang terdapat di pulau Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara. Asbuton pada umumnya berbentuk padat yang terbentuk secara alami akibat proses geologi. Proses terbentuknya asbuton berasal dari minyak bumi yang terdorong muncul ke permukaan menyusup di antara batuan yang porous.



Gambar II.1 Peta sebaran endapan aspal di Pulau Buton (Departemen PU, 2006)

Aspal batu buton atau biasa disebut asbuton ditemukan tahun 1924 di Pulau Buton, Sulawesi Tenggara. Asbuton mulai digunakan dalam pengaspalan jalan sejak tahun 1926. Berdasarkan data dari Departemen Pekerjaan Umum (2006), asbuton memiliki deposit sekitar 677 juta ton atau setara dengan 170 juta ton aspal minyak. Asbuton merupakan deposit aspal alam terbesar di dunia

Tabel.II.1 Perkiraan deposit asbuton di daerah Lawele dan sekitarnya

No.	Lokasi	Kadar bitumen (%)	Cadangan (Juta Ton)	Luas (m ²)
1.	Batuawu	20 - 40	60,69	550.000
2.	Mempenga	20 – 30	29,232	280.000
3.	Langunturu	20 – 25	37,149	420.000
4.	Kabukubuku	20 – 35	41,325	570.000
5.	Wangkaburu	20 – 35	41,888	460.000
6.	Siantopina	Belum diketahui	181,25	5.000.000
7.	Ulala	Belum diketahui	47,089	1.500.000

(Sumber: Departemen PU, 2006).

Terdapat beberapa pendapat dari para ahli geologi mengenai terbentuknya asbuton. Affandi (2008) berpendapat bahwa terbentuknya asbuton berawal dari adanya minyak bumi yang terdistilasi secara alamiah karena adanya intrusi magma. Bagian yang ringan dari minyak bumi menguap dan residu yang berupa bitumen terdesak mengisi lapisan batuan yang ada disekitarnya melalui patahan dan rekahan.

Rumanto (1989) menyatakan bahwa asbuton terbentuk akibat dari proses destilasi alam yang melalui batuan kapur, maka asbuton tersusun dari bitumen (aspal murni/*asphaltene*) dengan mineral yang tercampur secara alami, dimana mineral-mineral itu sebagian besar terdiri dari kapur yang mengakibatkan asbuton bersifat higroskopis dan membawa dampak kurang baik terhadap konstruksi jalan (dimana kandungan air maksimum 10% dalam konstruksi jalan).

Asbuton memiliki sifat yang berbeda-beda tergantung dari daerah mana asbuton tersebut diperoleh. Sampai saat ini dikenal ada dua daerah penambangan asbuton yang banyak dimanfaatkan hasilnya, yaitu didaerah kabungka dan lawele. Menurut Afandi, perbedaan ini disebabkan oleh sifat bitumen yang ada didalamnya, dimana bitumen pada deposit Kabungka mempunyai nilai penetrasi yang keras < 10 dmm dibanding dengan aspal yang berasal dari Lawele dengan nilai penetrasi bisa mencapai 30 dmm bahkan lebih. Sifat yang dimiliki dari kedua asbuton tersebut berbeda.

Berikut adalah data mengenai sifat fisik dan komponen kimia aspal asbuton dari Kabungka dan Lawele.

Tabel II.2 Sifat fisik aspal asbuton dari Kabungka dan Lawele

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	
	Kabungka	Lawele
Kadar aspal, %	20	30,08
Penetrasi, 25 ⁰ C, 100 gr, 5 detik, mm	0,4	0,36
Titik Lunak (<i>Softening point</i>), ⁰ C	101	59
Kelenturan, 25 ⁰ C, 5 cm/menit, cm	<140	>140
Kelarutan dalam C ₂ HCl ₃ , %	-	99,6
Titik nyala, ⁰ C	-	198
Berat jenis, kg/m ³	1,046	1,037
Penetrasi setelah TFOT, %	-	94
Titik Lunak setelah TFOT, ⁰ C	-	62
Kelenturan setelah TFOT, cm	-	>140

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2006

Tabel II.3 Komponen kimia aspal Kabungka dan Lawele

Komponen Kimia	Lawele	Kabungka
Nitrogen (N), %	26	29,04
<i>Acidaffins</i> (A ₁), %	9	6.60
<i>Acidaffins</i> (A ₂), %	12	8.43
<i>Paraffine</i> (P), %	11	8.86
Parameter <i>Maltene</i> , %	1	2.06
Nitrogen/ <i>Paraffine</i> , N/P	2	3.28
Kandungan <i>Asphaltene</i> , %	39	46.92

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2006

Berikut adalah data komposisi mineral yang terkandung dalam asbuton dari Kabungka dan Lawele.

Tabel II.4 Komposisi mineral asbuton Kabungka dan Lawele

Senyawa	Hasil pengujian	
	Kabungka (%)	Lawele (%)
CaCO ₃	86,66	72,9
MgCO ₃	1,43	1,28
CaSO ₄	1,11	1,94
CaS	0,36	0,52
H ₂ O	0,99	2,94
SiO ₂	5,64	17,06
Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	1,52	2,31
Residu	0,96	1,05

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2006

Asbuton memiliki dua jenis unsur utama yaitu aspal (bitumen) dan mineral. Pengertian aspal menurut American Society for Testing and Materials (ASTM) adalah suatu material yang berwarna coklat tua sampai hitam, padat atau semi padat yang terdiri dari bitumen – bitumen yang terdapat di alam atau diperoleh dari residu minyak bumi. Sedangkan bitumen menurut ASTM adalah campuran hidrokarbon yang berasal dari alam, yang bercampur dengan turunan – turunan non logam seperti gas, liquid, semi padatan atau padatan yang larut dalam karbon disulfid. Secara umum aspal dibagi menjadi dua kelompok yaitu aspal alam dan aspal buatan.

A. Aspal Alam

Aspal ini langsung terdapat di alam, memperolehnya tanpa proses pemasakan. Di Indonesia terdapat di Pulau Buton diistilahkan sebagai Asbuton (Aspal Batu Buton). Aspal ini merupakan campuran antara bitumen dan mineral dari ukuran debu sampai ukuran pasir yang sebagian besar merupakan mineral kapur. Sifat mekanis Asbuton menunjukkan pada temperatur $<30^{\circ}\text{C}$ pecah dan pada temperatur $30^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$ menjadi plastis selanjutnya pada temperatur $100^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$ akan menjadi cair (Departemen P.U., 2006).

B. Aspal Buatan

Aspal buatan dihasilkan dari hasil terakhir penyaringan minyak tanah kasar (*crude oil*) sehingga merupakan bagian terberat dari minyak tanah kasar dan terkental. Oleh karena itu untuk memperoleh aspal dengan mutu baik dipilih bahan baku minyak bumi dengan kadar parafin rendah. (Departemen P.U., 2006).

II.2. Bitumen Aspal Buton

Bitumen yang terdapat pada Aspal Buton pada dasarnya disusun dari 4 komponen utama yaitu hidrokarbon jenuh, aromatik, resin, dan aspal murni (*asphaltenes*). Masing- masing komponen memiliki struktur dan komposisi kimia yang berbeda, dan menentukan sifat rheologi dari bitumen. Bitumen merupakan senyawa yang kompleks utamanya yang disusun oleh hidrokarbon dan atom-atom N, S, dan O dalam jumlah yang kecil, juga beberapa logam seperti Vanadium, Ni, Fe, Ca, dalam bentuk garam organik dan oksidanya. Berikut sifat-sifat dari senyawa penyusun bitumen aspal alam,

Dinyatakan oleh Nuryanto (2009) bahwa *Asphaltenes* dan resin yang bersifat polar dapat bercampur membentuk koloid atau *micelle* dan menyebar dalam aromatik dan hidrokarbon jenuh. Dengan demikian, maka bitumen adalah suatu campuran cairan kental senyawa organik, berwarna hitam, lengket, larut dalam *carbon disulfide*, dan disusun utamanya oleh *polycyclic aromatic hydrocarbons* yang sangat kompak.

Tabel II.5 Sifat - sifat senyawa penyusun bitumen aspal alam (Nuryanto, 2009)

<i>Asphaltene</i>	Resin	Aromatik	Hidrokarbon Jenuh
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sangat polar ✓ Aromatik kompleks ✓ Berat molekul 1000-100000 ✓ Semakin tinggi asphaltenes, maka bitumen semakin keras, kental, tinggi titik lembeknya, dan semakin rendah harga penetrasinya ✓ Berwarna hitam/coklat 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Memiliki sifat rekat yang kuat ✓ Berat molekul 500-50000 ✓ Sebagai dispersing agent atau peptizer dari asphaltenes ✓ Tersusun oleh C dan H dan sedikit O, S, dan N ✓ Berwarna coklat tua ✓ Berwujud solid atau semi solid 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bersifat non-polar ✓ Berat molekul 300-2000 ✓ Merupakan 40-65% dari total bitumen ✓ Berwarna coklat tua ✓ Berwujud cairan kental 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Terdiri dari campuran hidrokarbon lurus, bercabang, alkil naphtene dan aromatik ✓ Bersifat non-polar ✓ Berat molekul 300-2000 ✓ Merupakan 5-20% dari total bitumen ✓ Berwujud cairan kental

II.3. Metode Pirolisis

Pirolisis berasal dari kata *Pyro* (Fire/Api) dan *Lyo* (Loosening/Pelepasan) untuk dekomposisi termal dari suatu bahan organik. Jadi pirolisis adalah proses konversi dari suatu bahan organik pada suhu tinggi dan terurai menjadi ikatan molekul yang lebih kecil. Pirolisis merupakan suatu bentuk insinerasi yang menguraikan bahan organik secara kimia melalui pemanasan dengan mengalirkan nitrogen sebagai gas inert.

Pirolisis sering disebut juga sebagai termolisis Fatimah (2004) mendefinisikan pirolisis adalah proses terhadap suatu materi dengan menambahkan aksi suhu tinggi tanpa kehadiran udara (khususnya oksigen). Secara singkat pirolisis dapat diartikan sebagai pembakaran tanpa oksigen. Pirolisis telah dikenal sejak ratusan tahun yang lalu untuk membuat arang dari sisa tumbuhan, baru pada sekitar abad ke-18 pirolisis digunakan untuk menganalisis komponen penyusun tanaman. Secara tradisional, pirolisis juga dikenal dengan istilah kering.

Paris dkk., (2005) mengatakan bahwa pirolisis merupakan proses pengeringan dengan cara pembakaran tidak sempurna bahan-bahan yang mengandung karbon pada suhu tinggi. Kebanyakan proses pirolisis menggunakan reaktor tertutup yang terbuat dari baja, sehingga bahan tidak terjadi kontak langsung dengan oksigen. Pada umumnya proses pirolisis berlangsung pada suhu di atas 300°C dalam waktu 4-7 jam. Namun, keadaan ini sangat bergantung pada bahan baku dan cara pembuatannya.

Menurut Goyal dkk (2006), proses pirolisis secara umum dikategorikan menjadi beberapa tipe, yaitu :

1. Pirolisis Lambat (Slow Pyrolysis)

Pirolisis yang dilakukan pada pemanasan yang rata – rata lambat. Pirolisis ini menghasilkan cairan yang sedikit sedangkan gas dan arang lebih banyak dihasilkan.

2. Pirolisis Cepat (Fast Pyrolysis)

Pirolisis cepat merupakan suatu proses pirolisis dengan peningkatan kecepatan kenaikan temperatur, pirolisis ini dilakukan pada lama pemanasan 0,2 – 2 detik, suhu 400 – 600°C.

3. Pirolisis Kilat (Flash Pyrolysis)

Proses pirolisis ini berlangsung hanya beberapa detik saja dengan pemanasan yang sangat tinggi. Flash pyrolysis membutuhkan pemanasan yang cepat dan ukuran partikel yang kecil sekitar 105 – 250 µm.

II.4. Reaksi Pirolisis untuk *Cracking* Bitumen

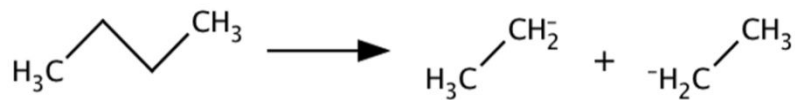
Reaksi yang terjadi selama proses pirolisis untuk *cracking* bitumen adalah sebagai berikut :

1. Reaksi Aromatisasi

Reaksi reversibel pertukaran aromatik ion H dan H terikat atom C tersier.

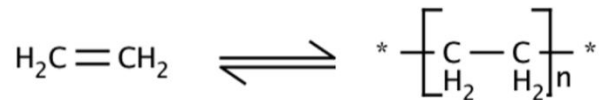
2. Dealkilasi

Reaksi ireversibel pertukaran H melalui reaksi radikal yang dapat dilanjutkan sebagai reaksi berantai yang mempengaruhi beberapa rantai H dalam satu atau lebih molekul.



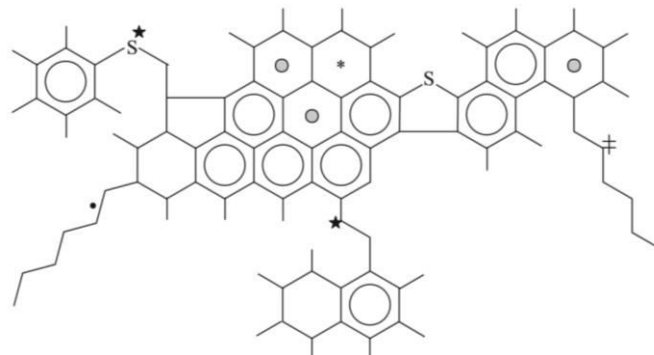
3. Fragmentasi

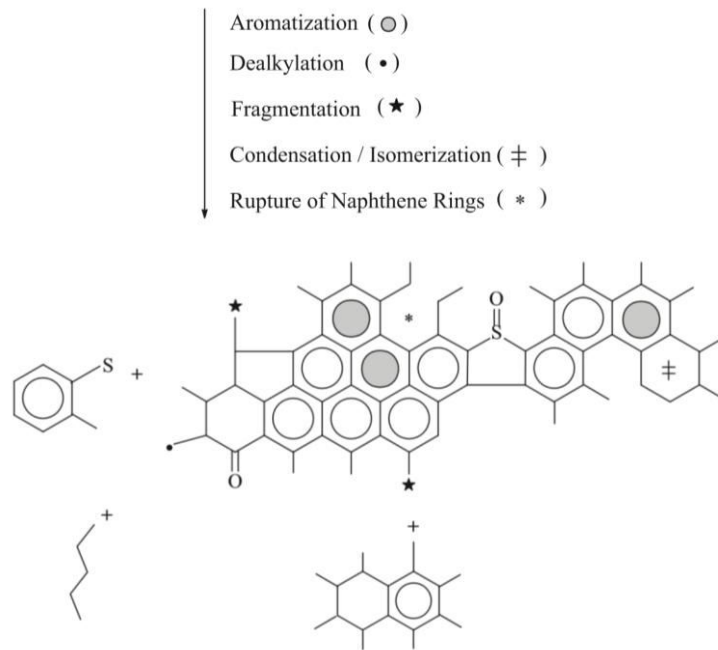
Fragmentasi mendominasi pada suhu di atas 300°C. Ini melibatkan depolimerisasi dari bitumen.



4. Isomerisasi

Reaksi reversible pertukaran organik H terikat O, N, atau S dalam kelompok fungsional dengan H₂O.





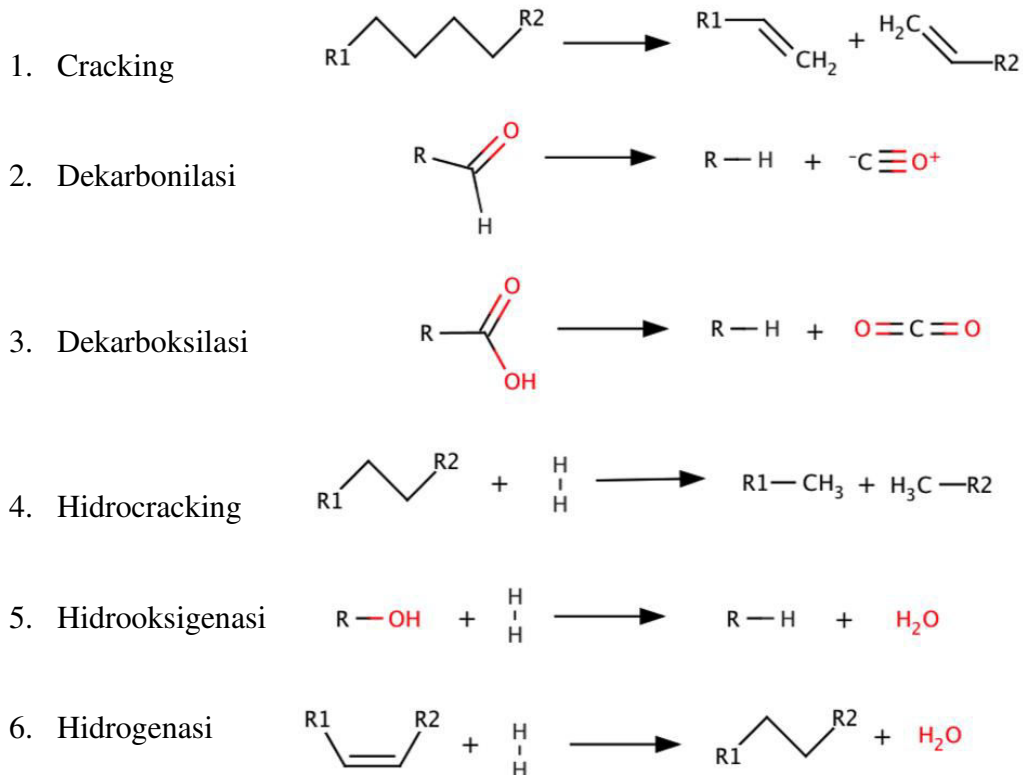
Gambar II.2 Skema Reaksi Pirolisis untuk *Cracking* Bitumen

(Sumber: Siddiqui, 2010)

Tabel II.6. Mekanisme pirolisis menurut suhu proses (Vamvuka, 2010)

No.	Suhu (°C)	Mekanisme
1.	100 – 120	Pemisahan padatan dan air, tidak ada dekomposisi senyawa
2.	250	Dimana tanpa oksigen terjadi desulfurisasi, bahan rusak, pemisahan struktur air dan CO ₂
3.	> 250	Pirolisis polimer, hidrogen sulfida mulai terpisah
4.	340	Senyawa alifatik mulai terpisah, metana dan hidrokarbon lain terisolasi
5.	380	Karburasi
6.	400	Senyawa nitrogen karbon oksigen mulai terdekomposisi
7.	400 – 420	Bitumen menjadi minyak
8.	600	Dimana bitumen ter-cracking menjadi bahan tahan panas (fase gas, hidrokarbon rantai pendek, grafit)
9.	> 600	Pembentukan aromatik olefin

Sedangkan reaksi yang terjadi pada proses katalitik pirolisis antara lain :



(Dickerson dan Soria, 2013)

II.5. Katalis

Katalis adalah suatu senyawa kimia yang menyebabkan reaksi menjadi lebih cepat untuk mencapai kesetimbangan tanpa mengalami kesetimbangan tanpa mengalami perubahan kimiawi diakhir reaksi. Katalis tidak mengubah nilai kesetimbangan dan berperan dalam menurunkan energi aktivasi. Dalam penurunan energi aktivasi ini, maka energi minimum yang dibutuhkan untuk terjadinya tumbukan berkurang sehingga terjadinya reaksi berjalan cepat.

II.5.1 Sifat Katalis

Katalis pada umumnya mempunyai sifat – sifat sebagai berikut:

1. Selektifitas

Definisi selektifitas adalah daya produksi atau kemampuan katalis dalam menghasilkan produk sesuai dengan yang dikehendaki. Hal ini terjadi karena

suatu zat yang berperan dalam suatu proses dapat juga menjadi penghambat pada proses lainnya, sehingga perlu diteliti setiap bagiannya dengan katalis

2. Stabilitas

Makna stabil ini menunjukkan kemampuan menghadapi senyawa toksik yang mungkin dapat merusak kinerja dari katalis itu sendiri

3. Umur

Umur katalis menunjukkan rentang waktu bagi katalis untuk bertahan pada level yang mencukupi sesuai kinerja katalis yang diinginkan

4. Aktivitas

Suatu katalis memiliki keaktifan masing – masing yang berbeda dalam mengubah bahan baku menjadi produk. Keaktifan ini didapat dari kombinasi bahan kimia dan bahan mineralogi, sehingga dapat diketahui katalis tersebut aktif dalam melakukan proses katalis disertai dengan produk baru yang diinginkan.

5. Kekuatan mekanik

Kekuatan mekanik merupakan suatu kondisi yang harus dimiliki katalis sehingga bila proses menghendaki tekanan dan temperatur tinggi katalis itu dapat digunakan.

6. Kemudahan regenerasi

Sifat mudah diregenerasi harus dimiliki oleh katalis sehingga pada saat katalis dioperasikan gangguan yang terjadi dapat diminimumkan.

II.5.2 Penggolongan Katalis

Katalis dapat digolongkan berdasarkan fasa katalis, reaktan, dan produk hasil reaksi, sebagai contohnya adalah katalis heterogen dan katalis homogen. Penggolongan ini berdasarkan pada fasa katalis yaitu:

1. Katalis heterogen

Katalis yang berbeda fasa dengan reaktan dan produk reaksinya. Katalis jenis ini memiliki pusat aktif yang tidak seragam dan tidak semua bagian permukaan padatnya berfungsi sebagai pusat aktif. Pusat aktif katalis heterogen berada pada permukaan pori-pori padatan. Katalis jenis ini berfungsi untuk melakukan proses rengkahan hidrokarbon.

2. Katalis homogen

Katalis yang berfasa sama dengan reaktan. Katalis ini memiliki aktivitas dan selektivitas tinggi karena setiap molekul katalis bersifat aktif sebagai katalis yang tidak mudah teracuni oleh adanya sedikit kotoran.

Berikut ini adalah tabel perbandingan elemen katalis heterogen dan homogen, yaitu:

Tabel II.7. Perbandingan elemen katalis heterogen dan homogen

Elemen katalis	Homogen	Heterogen
Pusat aktivitas	Semua atom memiliki reaktivitas	Hanya atom – atom pada permukaan partikel
Konsentrasi yang dibutuhkan	Rendah	Tinggi
Selektifitas	Tinggi	Rendah
Sifat difusi	Secara praktiknya tidak ada (kinetika yang mengendalikan jalannya reaksi)	Ada (perpindahan massa yang mempengaruhi jalannya reaksi)
Suhu reaksi	50 – 200 °C	> 250 °C
Penggunaan	Spesifik	Luas
Struktur/stokiometri	Mudah ditentukan	Sulit ditentukan
Kemungkinan modifikasi	Tinggi	Rendah
Daya tahan suhu	Rendah	Tinggi
Teknik pemisahan	Destilasi, ekstraksi	Suspensi, filtrasi

II.6. Katalis Zeolit

Togar (2012) menyatakan bahwa Zeolit menurut *J.V Smith* pada tahun 1984 adalah mineral dengan struktur kristal alumina silikat yang berbentuk rangka (*framework*) tiga dimensi, mempunyai rongga dan saluran serta mengandung ion-ion logam seperti Na, K, Mg, Ca dan Fe serta molekul air. Pertama kali zeolit ditemukan oleh seorang ahli mineralogi asal Swedia bernama *Axel Frederick Cronstedt* pada tahun 1756. Mineral yang ditemukan akan dengan cepat melepaskan air bila dipanaskan dan seolah-olah

mendidih. Sehingga mineral alam ini dinamakan zeolit yang dalam bahasa Yunani berarti batu didih (*zeo: boil* dan *lythe : stone*).

Komposisi kimia dan sifat dari zeolit alam ini banyak dipengaruhi oleh kondisi hidrotermal lingkungan sekitar seperti temperatur, tekanan uap dan komposisi air tanah di lokasi tempat pembentukan zeolit alam. Maka tidak mengherankan apabila ditemukan zeolit alam yang berbeda komposisi kimia yang dengan zeolit alam dari lokasi lain meskipun warna dan teksturnya sama, sehingga akan menimbulkan beragam jenis zeolit alam yang terbentuk. **Tabel II.7** menunjukkan klasifikasi mineral zeolit alam lengkap dengan rumus kimia.

Secara umum, zeolit berfungsi sebagai katalis padatan memiliki beberapa karakterisasi, antara lain:

- Mempunyai kapasitas adsorpsi yang tinggi
- Dapat memisahkan atau mereaksikan produk dan reaktan
- Luas permukaan yang besar, memiliki dimensi pori molekuler
- Adanya kemungkinan melakukan *preactivation* molekul ketika pori-pori oleh medan listrik kuat dan kekangan molekul

Tabel II.8. Klasifikasi mineral zeolit alam (Togar, 2012)

Zeolit	Rumus Kimia
Grup Analsim	
Analsim	$\text{Na}_{16}[\text{Al}_{16}\text{Si}_{31}\text{O}_{96}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Wairakit	$\text{Ca}_8[\text{Al}_{16}\text{Si}_{31}\text{O}_{96}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Grup Natrolit	
Natrolit	$\text{Na}_{16}[\text{Al}_{16}\text{Si}_{24}\text{O}_{80}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Thomsonit	$\text{Na}_{16} \text{ Ca}_8 [\text{Al}_{20}\text{Si}_{20}\text{O}_{80}] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
Grup Heulandit	
Heulandit	$\text{Ca}_4[\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72}] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
Klinoptilolit	$\text{Na}_{26}[\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
Group Filipsit	
Filipsit	$\text{K}_2\text{Ca}_{15}[\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{32}] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
Zeolit Na-P-1	$\text{Na}_8[\text{Al}_{31}\text{SiO}_{16}] \cdot 16\text{H}_2\text{O}$

Zeolit	Rumus Kimia
Grup Mordenit	
Mordenit	$\text{Na}_8[\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_96] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
Ferrierit	$\text{NaCa}_{0,5}\text{Mg}_2[\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
Grup Kabasit	
Kabasit	$\text{Ca}_2[\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{24}] \cdot 13\text{H}_2\text{O}$
Zeolit L	$\text{K}_6\text{Na}_3[\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}] \cdot 21\text{H}_2\text{O}$
Grup Faujasit	
Faujsit	$\text{Na}_{12}\text{Ca}_{12}\text{Mg}_{11}[\text{Al}_{58}\text{Si}_{134}\text{O}_{384}] \cdot 235\text{H}_2\text{O}$
Zeolit A	$\text{Na}_{12}[\text{Al}_{12}\text{Si}_{12}\text{O}_{48}] \cdot 27\text{H}_2\text{O}$
Grup Laumontit	
Laumontit	$\text{Ca}_4[\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{46}] \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
Grup Pentasil	
ZSM -5	$\text{Na}_n[\text{Al}_n\text{Si}_{96}\text{O}_{192}] \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
Grup Zeotype	
$\text{AlPO}_4\text{-5}$	$[\text{Al}_{12}\text{P}_{12}\text{O}_{48}] (\text{C}_3\text{H}_7)_4 \text{NOH } q \text{ H}_2\text{O}$

II.6.1 Jenis – Jenis Zeolit

Lestari (2010) Menyatakan menurut proses pembentukannya zeolit dapat digolongkan menjadi dua bagian yaitu zeolit alam dan zeolit sintesis.

a. Zeolit alam

Zeolit alam merupakan mineral yang terbentuk karena adanya proses perubahan alam (zeolitisasi). Di alam banyak dijumpai zeolit dalam lubang batuan lava dan dalam batuan sedimen terutama sedimenpiroklasik berbutir halus. Jenis zeolit di alam terdiri dari hampir 50 spesies, antara lain zeolit Klinoptilolit, Analsim, Kabasit, Erionit, Faujasit, Ferrierit, dan Heulandit. Pada proses pembentukannya, mineral zeolit yang terbentuk lebih dahulu adalah Klinoptilolit dan Filupsit yang merupakan mineral penurun bagi mineral zeolit yang lain. Di Indonesia jenis zeolit yang terbesar adalah Klinoptilolit dan Modenit.

Zeolit alam banyak ditemukan di India, Siprus, Jerman, dan Amerika Serikat, sedangkan daerah di Indonesia yang diperkirakan mempunyai cadangan

zeolit sangat besar dan berpotensi untuk dikembangkan, yaitu Jawa Barat dan Lampung.

b. Zeolit Sintesis

Zeolit sintesis merupakan hasil rekayasa manusia melalui proses kimia yang dibuat secara laboratorium ataupun dalam skala industri dan memiliki sifat khusus sesuai dengan keperluannya. Sifat zeolit sangat tergantung dari jumlah komponen Al dan Si. Oleh sebab itu, zeolit sintesis dikelompokkan menjadi tiga jenis, berdasarkan perbandingan kadar komponen Al dan Si dalam zeolit, yaitu:

- Zeolit Si

Zeolit ini sama sekali tidak mengandung sisi kation (Al), bersifat sangat hidrofilik-hidrofobik, sehingga dapat mengeluarkan atau memisahkan suatu molekul organik dari suatu campuran air.

- Zeolit dengan kadar Si rendah

Zeolit jenis ini kaya Al, dan memiliki pori-pori, komposisi serta saluran rongga optimum, sehingga memiliki nilai ekonomi tinggi karena sangat efektif untuk proses pemisahan atau pemurnian dalam skala besar.

- Zeolit dengan kadar Si tinggi

Sifat zeolit jenis ini sangat hidropilik dan akan menyerap molekul yang tidak polar dan baik digunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon.

II.6.2. Aktivasi Zeolit

Aktivasi zeolite alam dapat dilakukan secara fisik maupun kimiawi. Secara fisik, aktivasi dapat dilakukan dengan pemanasan pada suhu 300°C – 400°C (Hardono, 1997). Aktivasi secara kimiawi dilakukan dengan pencucian zeolite menggunakan aquades atau asam anorganik, seperti larutan HCl, larutan NaOH, larutan NaCl jenuh dan larutan NH₄OH untuk menghilangkan oksida pengotor yang menutupi permukaan pori, meningkatkan rasio Si/Al, dan menguatkan struktur di dalam katalis zeolite alam. Metode aktivasi ini digunakan metode pertukaran ion. Kemampuan zeolite sebagai penukar ion tergantung pada banyaknya kation tukar pada zeolite. Banyaknya kation tukar pada zeolite ditentukan oleh banyaknya kation Si⁴⁺ yang diganti oleh kation lain yang bervalensi tiga atau lima. Pada zeolite alam Si⁴⁺ biasanya digantikan oleh kation Al³⁺ sehingga kapasitas tukar kation ditentukan oleh perbandingan Si terhadap Al. Kation

tukar pada zeolite dapat dipertukarkan dengan kation lain dari logam alkali atau alkali tanah yang lain karena kation tukar tidak terikat dalam rangka zeolite oleh empat atom oksigen seperti Si^{4+} dan Al^{3+} .

II.7. Penelitian – Penelitian Bitumen yang Sudah Dilakukan

Pada tahun – tahun awal, tidak ada penelitian yang berfokus secara menyeluruh pada pembakaran bitumen sebagai proses pemulihan, sebagian besar fokus pada potensi untuk meningkatkan bitumen untuk bahan bakar API yang lebih tinggi dengan *thermal cracking*. Dari sekitar 1971 dan seterusnya, studi *thermal cracking* bitumen masih difokuskan terutama pada penggunaan pirolisis untuk meningkatkan bitumen sebagai nilai tambah produk seperti bahan bakar transportasi.

Tabel II.9 Penelitian – penelitian bitumen yang sudah dilakukan

No.	Penulis	Percobaan	Hasil
1.	Philips dkk, 1984	Bitumen yang di <i>thermal cracking</i> dengan dan tanpa <i>oil sands</i> pada 360, 400 dan 420 °C.	Produk yang dihasilkan adalah <i>coke</i> , aspal, minyak berat, minyak ringan dan gas. Hasil <i>coke</i> dan gas dari campuran bitumen dan <i>oil sands</i> lebih tinggi daripada yang hanya berasal dari bitumen.
2.	Junaid dkk, 2008	<i>Cracking</i> Athabasca bitumen dengan menggunakan katalis zeolit alam jenis chabazite dan klipnotilolit	Hasil yang didapat dalam penelitian ini adalah zeolit alam dapat memecah molekul berat terutama asphaltenes dan <i>light</i> hidrokarbon seperti pentana dan heksana dapat terekstrak.

No.	Penulis	Percobaan	Hasil
3.	Lee dkk, 2011	Katalitik <i>cracking</i> bitumen <i>oil sands</i> pada <i>fixed bed</i> reaktor dengan katalis nanopori pada kondisi atmosfer.	Aktivitas katalitik tertinggi adalah Meso – LKM yang memproduksi hasil gas tinggi karena ukuran pori yang besar dan keasaman yang kuat. Ukuran pori bahan nanopori lebih berperan daripada asam lemah atau luas permukaan, tampaknya memegang peran penting dalam <i>cracking</i> bitumen <i>oil sands</i> .
4.	Zhao & Yu, 2011	Reaksi <i>thermal hydrocracking</i> dan <i>catalitic hydrocracking</i> dengan katalis NiMo/ γ -Al ₂ O ₃ dari campuran pentana tak larut dari Athabasca bitumen pada 430 °C.	Dalam penelitian ini disebutkan residu bitumen mengandung sejumlah besar makromolekul seperti asphaltenes. Konsentrasi tinggi hetero-atom, logam, karbon dan senyawa polar di asphaltenes mengganggu upgrade dan konversi bitumen dengan adanya proses seperti pembentukan <i>coke</i> dan deaktivasi katalis. Kesimpulan dari penelitian ini adalah dibandingkan dengan <i>thermal hydrocracking</i> , <i>catalitic hydrocracking</i> meningkatkan produksi produk cair dan menghambat pembentukan <i>coke</i> secara efektif.

No.	Penulis	Percobaan	Hasil
5.	Ma dan Li, 2012	Ekstraksi dan pirolisis pada bitumen Asbuton dilakukan pada suhu 600°C.	Pirolisis dengan energi aktivasi rendah terutama pada perubahan hidrokarbon teradsorpsi dan pecahnya ikatan kimia lemah, seperti, ikatan C - O dan ikatan C - S. Hasil pada penelitian ini menggambarkan bahwa fraksi utama dalam produk <i>liquid</i> dari pirolisis adalah diesel, sekitar 52%. Sedangkan yield produk gas dari pirolisis kurang dari 5% dengan kandungan gas dengan % volume masing-masing CH ₄ 23,31%, H ₂ 20,21%, CO ₂ 16,05%, H ₂ S 7,48%, CO 3,02% dan C ₂ - C ₄ 27,94%.
6.	Liu dkk, 2014	Thermogravimetric dari karakteristik dan kinetika pirolisis asbuton menggunakan thermogravimetric analyser (TGA) pada suhu 550°C	Disebutkan dalam penelitian ini pirolisis merupakan metode yang efektif digunakan untuk memisahkan dan merecovery bitumen dari batuan mineralnya (<i>sandstone host</i>).
7	Aminati dan Nugroho, 2016	Proses Katalitik Pirolisis Untuk Cracking Bitumen Dari Asbuton Dengan Katalis Zeolit	Disebutkan Dari penelitian ini hasil (%) produk cair yang terbentuk tertinggi sebesar 65,31% dari massa bitumen awal pada kondisi operasi 400°C dengan penambahan 5% katalis zeolite.

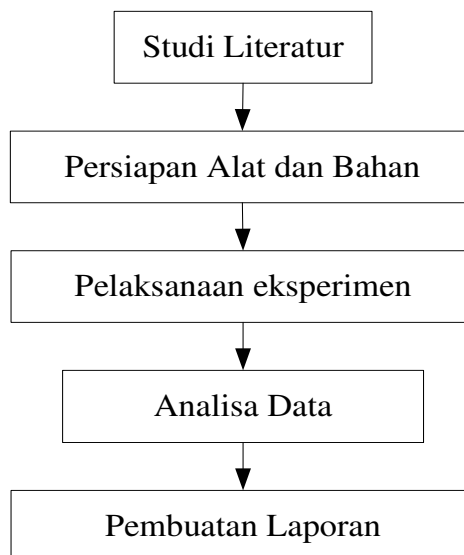
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Garis Besar Penelitian

Secara garis besar pelaksanaan proses katalitik pirolisis untuk *cracking* bitumen dari asbuton dilakukan secara eksperimen di Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa, Teknik Kimia, ITS. Bahan baku yang digunakan adalah Asbuton dari Lawele, Sulawesi Tenggara. Dalam penelitian ini dilakukan proses katalitik pirolisis bitumen dari Asbuton, dimana Asbuton sebagai bahan baku yang mengandung bitumen akan *dicracking* menggunakan katalis di dalam reaktor pirolisis vakum secara *semi-continue*.

Untuk memperoleh hasil yang sesuai dengan tujuan penelitian maka ditempuh metodologi sebagai berikut



Gambar III.1 Langkah – langkah penelitian

- Studi Literatur

Tahapan pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah mencari literatur yang berkaitan dengan tema yang penulis ambil. Hal ini untuk menyakinkan alasan penulis melakukan penelitian dengan mempertimbangkan perkembangan penelitian yang berkaitan dan potensi yang akan didapatkan. Literatur yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari jurnal-jurnal nasional maupun

internasional yang mendukung analisa hasil penelitian nantinya. Selain itu, studi literatur juga dilakukan dengan diskusi bersama dosen pembimbing.

- **Persiapan Alat dan Bahan**

Tahapan kedua yaitu mempersiapkan peralatan dan bahan yang digunakan dalam eksperimen. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor katalitik pirolisis yang telah tersedia di Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa. Bahan baku utama yang digunakan menggunakan asbuton yang berasal dari Lawele, Sulawesi Tenggara. Sedangkan untuk bahan pendukung didapatkan dari gudang bahan Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa.

- **Pelaksanaan Eksperimen**

Tahapan ketiga yaitu melaksanakan eksperimen dengan prosedur yang telah ditelaah dari berbagai literatur. Pelaksanaan eksperimen dilaksanakan di Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa.

- **Analisa Data**

Tahapan keempat yaitu menganalisa hasil eksperimen. Analisa Data dilakukan melalui beberapa literatur dan uji hasil di beberapa laboratorium luar. Analisa data juga dilakukan dengan berdiskusi dengan dosen pembimbing.

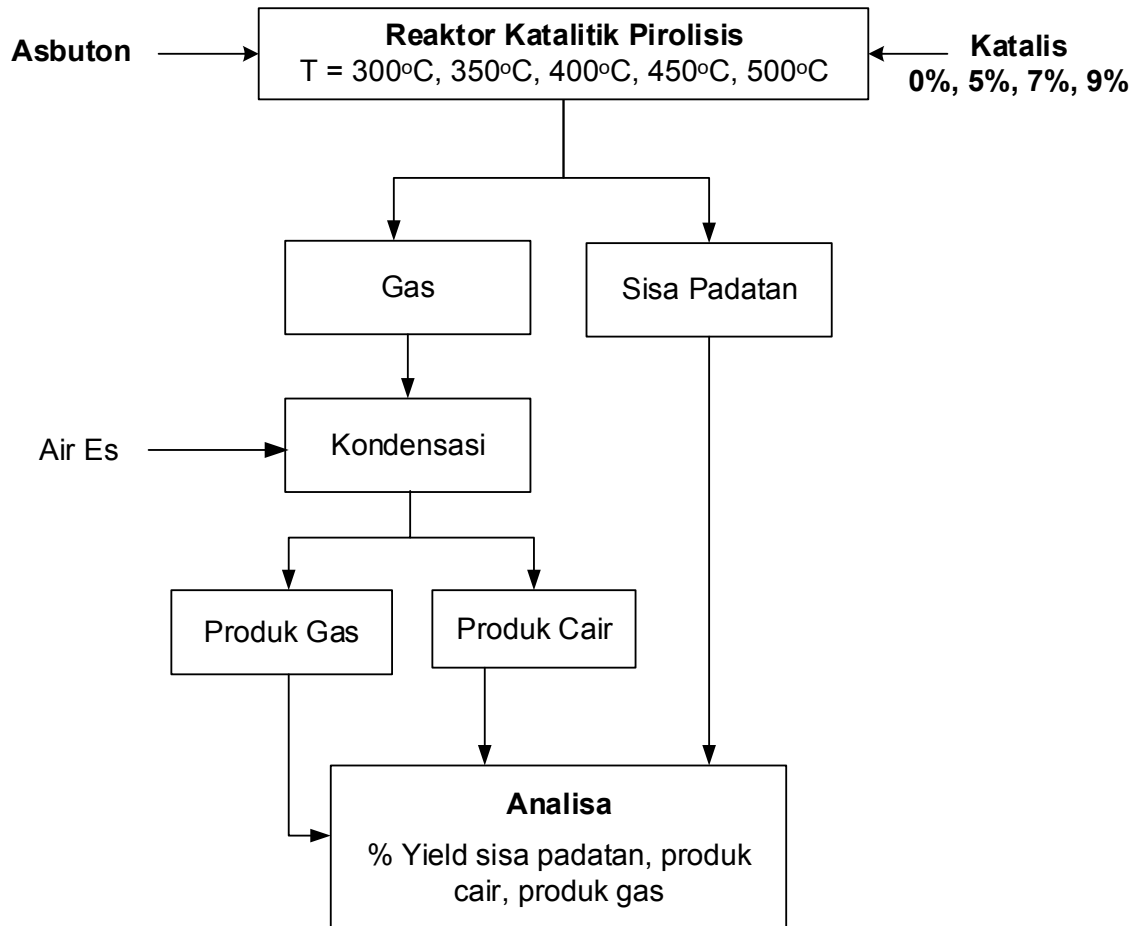
- **Pembuatan Laporan**

Tahapan kelima yaitu menyusun laporan penelitian berdasarkan hasil eksperimen dan analisa data yang dilakukan. Dalam penyusunan laporan akan didampingi oleh dosen pembimbing.

III.2 Langkah - Langkah Penelitian

Secara garis besar prosedur dalam penelitian ini terbagi menjadi 5 tahapan, yaitu tahap persiapan bahan baku, tahap aktivasi katalis, tahap analisis kadar bitumen awal, tahap *cracking* bitumen dalam asbuton, dan tahap analisis data. Untuk mekanisme pirolisis yang terjadi dalam cracking bitumen hingga analisa data dapat ditunjukkan pada **gambar III.2**. Dimana, bahan baku asbuton dan katalis yang telah melalui tahap persiapan bahan baku akan masuk ke dalam reaktor katalitik pirolisis dengan kondisi tekanan vakum dan beberapa kondisi temperatur yang berbeda. Proses pirolisis ini berlangsung hingga produk gas hasil pirolisis tidak tersisa. Dari proses pirolisis ini akan terbentuk produk cair dan produk gas yang tidak terkondensasi serta padatan yang

tertinggal di dalam reaktor. Kemudian akan dilakukan analisa terhadap ketiga produk tersebut.



Gambar III.2 *Flowchart* proses pirolisis dan analisis data

III.2.1 Tahap Persiapan Bahan Baku

Tujuan dari persiapan bahan baku ini adalah untuk menyeragamkan diameter partikel Asbuton dengan cara memperkecil ukurannya menggunakan *crusher/hammer* kemudian disaring dengan ayakan sebesar 10 mesh (2 mm) dan 20 mesh (0,841 mm).

III.2.2 Tahap Aktivasi Katalis

Pada tahap ini dilakukan aktivasi katalis untuk menaikkan kualitas zeolit. Aktivasi katalis zeolit dilakukan secara fisis. Aktivasi secara fisik bertujuan untuk menguapkan air yang terperangkap dalam pori-pori kristal zeolit, sehingga luas permukaan pori-pori

bertambah. Aktivasi ini dilakukan dengan cara pemanasan pada suhu 500°C selama 7 jam. Setelah itu, zeolit yang telah diaktivasi disimpan dalam desikator untuk mencegah kontak dengan air kembali.

III.2.3 Tahap Analisis Kadar Bitumen Awal

Tujuan dari tahap ini adalah untuk mengetahui kadar bitumen awal dalam Asbuton. Pertama, kadar bitumen dalam batuan dianalisis melalui metode ekstraksi menggunakan soklet. Yang perlu dilakukan pertama adalah menghilangkan kadar air dalam batuan asbuton dalam oven pada suhu $\pm 105^{\circ}\text{C}$. Kemudian menimbang massa asbuton awal, dan selanjutnya dilakukan ekstraksi menggunakan soklet. Pelarut yang digunakan adalah TCE (*Trichloroethylene*) karena merupakan pelarut yang baik untuk senyawa organik (bitumen). Kemudian dihitung massa mineral yang masih tertinggal. Dari sana bisa dihitung massa bitumen yang terekstrak, yakni selisih antara massa asbuton awal dan massa mineral yang tertinggal.

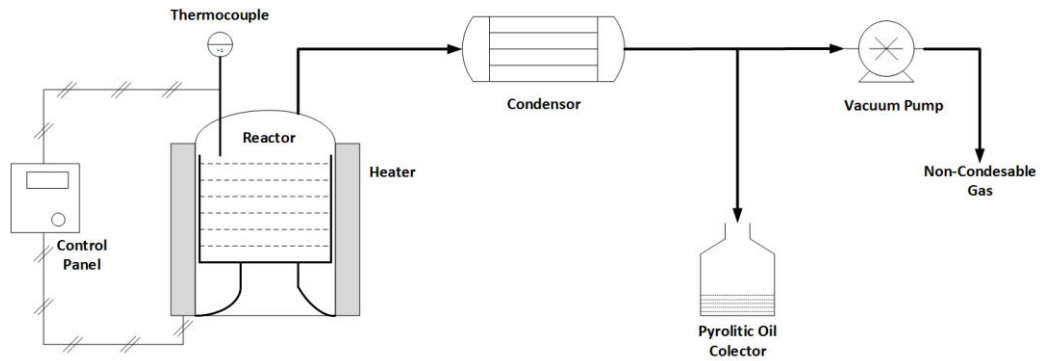
$$\text{Kadar Bitumen} = \frac{\text{Massa Bitumen Terekstrak}}{\text{Massa Asbuton}} \times 100\% \quad (1)$$

III.2.4 Tahap *Cracking* Bitumen dalam Asbuton

Proses *cracking* bitumen menggunakan proses pirolisis dengan katalis dalam keadaan vakum. Tahap ini dilakukan di tangki reaktor berdiameter 10,16 cm dan tinggi 20 cm, di dalam reaktor terdapat gelas *stainless steel* dengan diameter 7.62 cm dan tinggi 11 cm sebagai tempat sampel, di bawah gelas *stainless steel* dipasang penyangga setinggi 2 cm untuk mencegah panas langsung dari *heater*. Pada proses *cracking* bitumen dari batuan asbuton digunakan *belt heater* dengan daya 2500 Watt, hal ini diharapkan panas yang dihantarkan akan merata ke seluruh bagian reaktor. Bagian luar reaktor dipasang batu tahan api yang berguna untuk mengurangi *heat loss* dari *heater*. Pada percobaan ini *cracking* bitumen diberikan perlakuan tanpa menggunakan katalis dan dengan menggunakan katalis, katalis yang digunakan adalah katalis zeolit alam jenis klipnotilit.

Tahap ini dimulai dengan menimbang massa asbuton dan katalis yang diperlukan dengan persen massa katalis terhadap massa asbuton sesuai dengan variabel. Selanjutnya asbuton dan katalis yang telah ditimbang dimasukkan ke dalam gelas *stainless steel* kemudian diaduk rata, lalu gelas *stainless steel* dimasukkan ke dalam tangki reaktor. Setelah ditutup, tangki reaktor divakum menggunakan *vacuum pump* dan *heater* diset

seuai variabel suhu pirolisis. Gas yang terbentuk dari proses ini akan dikondensasi pada kondensor spiral dengan panjang 2 meter yang didinginkan menggunakan air es yang dijaga suhunya pada 25°C. Produk cair ditampung didalam erlenmeyer, sedangkan gas yang tidak terkondensasi (produk gas) ditampung didalam kantong gas. Pirolisis dilakukan sampai produk cair berhenti menetes dan gas tidak diproduksi lagi. Kemudian % yield produk yang terbentuk masing-masing dianalisa dan % konversi bitumen.



Gambar III.3 Skema percobaan pirolisis bitumen dalam asbuton

III.2.5 Analisa Data

Analisa yang akan dilakukan adalah analisa untuk mengetahui berapa banyak persen *yield* (%) yang diperoleh dari masing-masing produk gas, cair, dan padat. Untuk menentukan persen (%) *yield* produk adalah dengan menggunakan neraca massa pada masing – masing produk dan (%) produk cair.

$$\% \text{ Yield produk} = \frac{\text{massa produk}}{\text{massa asbuton}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\% \text{ Produk Cair} = \frac{\text{massa produk cair}}{\text{massa bitumen dalam asbuton}} \times 100\% \quad (3)$$

III.3 Bahan yang Digunakan

1. Asbuton Lawele
2. Katalis Zeolite Klinoptilolit
3. Air es
4. TCE (Trichloroethylene) (EMSURE®)

III.4 ALAT YANG DIGUNAKAN

III.4.1 Peralatan Persiapan Bahan Baku

1. *Hammer*
2. Ayakan 10 mesh (2 mm)
3. Ayakan 20 mesh (0.84 mm)

III.4.2 Peralatan Aktivasi Katalis

1. Furnace
2. Cawan Porselin

III.4.3 Peralatan Proses Ekstraksi Bitumen menggunakan Trichloroethylene

1. Ekstraktor Soklet
2. Labu alas datar
3. Klem Holder dan Statif
4. Kondensor Refluks
5. Pemanas
6. Gelas ukur 10 ml
7. Kertas saring
8. Stopwatch
9. Termometer

III.4.4 Peralatan Proses Pirolisis Bitumen dalam Asbuton

1. Gelas *stainless steel*
2. Tangki reaktor
3. *Belt heater*
4. Batu tahan api
5. Kondensor spiral
6. Erlenmeyer vakum 500 ml
7. *Vacum pump* dan perlengkapannya
8. Kantong gas
9. Stopwatch
10. Neraca Analitik kapasitas 2 kg

III.5 Variabel Penelitian

III.5.1 Kondisi yang ditetapkan

1. Massa Asbuton = 228 gram
2. Jenis katalis = Zeolit alam klipnotilolit

III.5.2 Variabel Masukan

1. Suhu pirolisis = 300 °C, 350 °C, 400°C, 450°C, 500°C
2. Ratio Katalis : Asbuton = 5%, 7%, 9% terhadap massa asbuton

III.5.3 Variabel Respon

1. Persen (%) *yield* produk:

$$\% \text{ Yield produk} = \frac{\text{massa produk}}{\text{massa asbuton}} \times 100\% \quad (3)$$

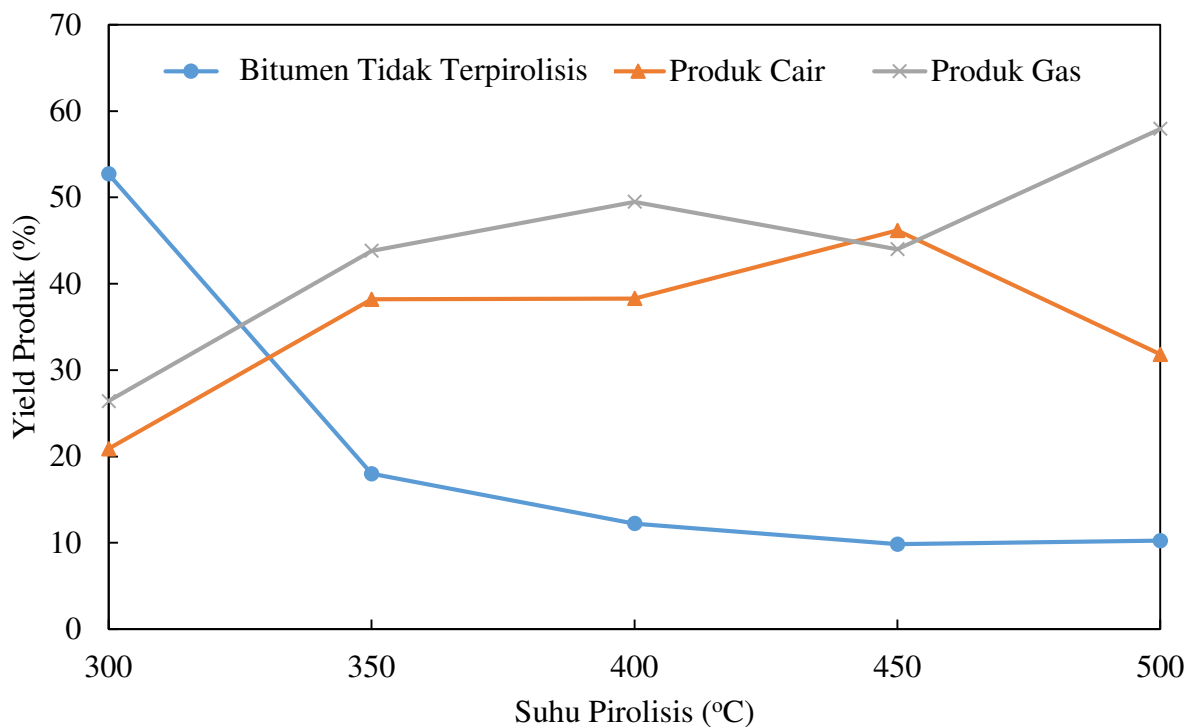
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas hasil penelitian secara eksperimen proses pirolisis untuk *cracking* bitumen dari batuan Aspal Buton dengan dan tanpa menggunakan katalis zeolit. Adapun kondisi yang ditetapkan dalam penelitian adalah jumlah asbuton yaitu 228 gram dan katalis zeolit alam yang digunakan adalah jenis klipnotilolit dengan rumus kimia $\text{Na}_{26}[\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}]\cdot 24\text{H}_2\text{O}$ berasal dari daerah Wonosari, Malang. Dalam penelitian ini dipelajari pengaruh suhu pirolisis terhadap % yield masing-masing produk, pengaruh penambahan katalis terhadap persen %yield masing-masing produk, dan pengaruh penambahan katalis dan suhu pirolisis terhadap persen %produk cair. Suhu pirolisis divariasi 300°C, 350 °C, 400°C, 450°C dan 500 °C, begitu juga dengan jumlah penambahan katalis divariasi 5%, 7%, 9% (persen (%) berat dari jumlah asbuton yang digunakan). Adapun tujuan penambahan katalis yaitu untuk meningkatkan yield produk cair yang akan dihasilkan, zeolit alam sebagai katalis yang digunakan sebagai agen selektifitas dicampur dengan asbuton secara merata sehingga dapat menghasilkan produk sesuai yang dikehendaki. Variasi variabel proses tersebut dipelajari pengaruhnya terhadap persen (%) yield masing-masing produk dan persen (%) produk cair. Kadar awal bitumen diperoleh 21.13 % yang didapatkan dengan proses ekstraksi soklet dengan pelarut *Trichloroethylene* (TCE).

IV.1. Pengaruh Suhu Pirolisis Terhadap % Yield Masing-Masing Bitumen Tidak Terpirolisis, Produk Cair, Dan Produk Gas.

Pengaruh suhu pirolisis bitumen yang terkandung dalam asbuton terhadap %yield produk cair dan produk gas ditunjukkan pada **Gambar IV.1** pada kondisi tanpa penambahan katalis selama proses pirolisis berlangsung. Suhu pirolisis yang digunakan adalah 300°C, 350 °C, 400°C, 450°C dan 500 °C.



Gambar IV.1. Grafik pengaruh suhu pirolisis terhadap persen (%) yield produk cair, produk gas, dan bitumen yang tidak terpirolisis

Proses pirolisis bitumen yang terkandung dalam asbuton pada suhu tertentu menghasilkan tiga jenis produk yakni produk cair, produk gas, dan bitumen yang tidak terpirolisis yang masih terkandung dalam mineral asbuton. Hal ini sesuai dengan penelitian Ma dan Li (2012) yang menunjukkan bahwa bitumen dapat dikonversi menjadi bahan bakar cair dengan metode pirolisis.

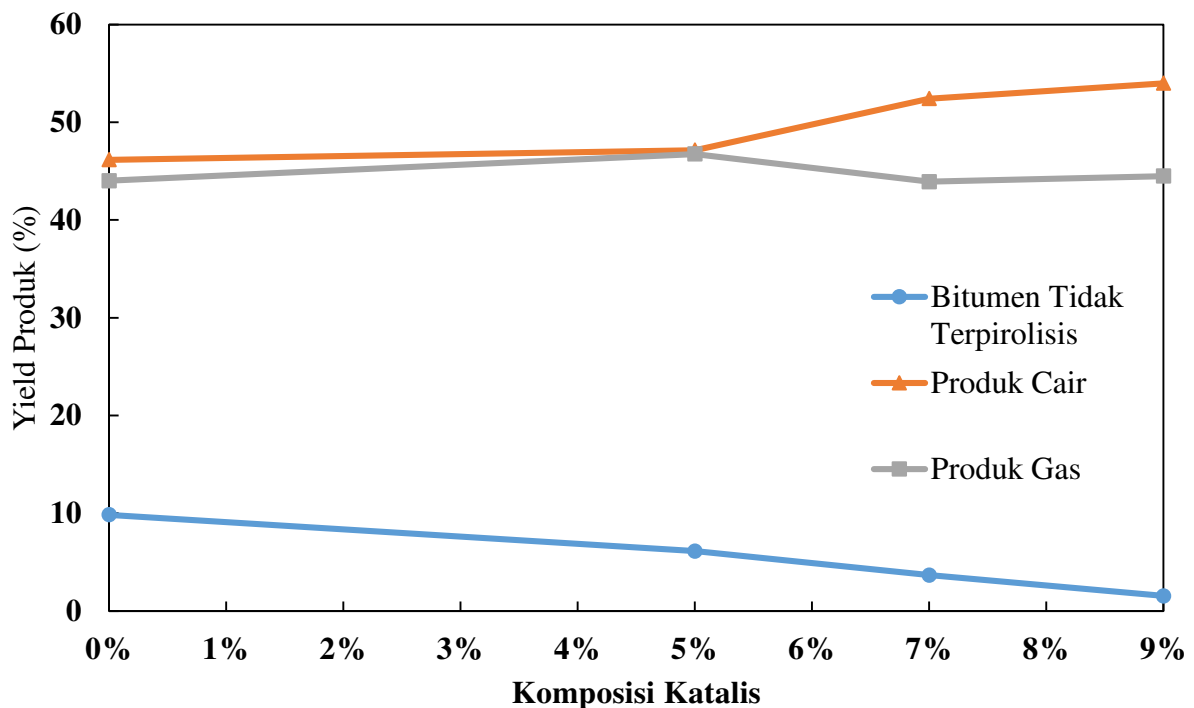
Perhitungan masing-masing persen yield produk menggunakan perhitungan neraca massa. Dari **Gambar IV.1.** hasil menunjukkan dengan kenaikan suhu pirolisis akan meningkatkan yield produk cair hingga suhu 450°C, namun saat suhu pirolisis ditingkatkan menjadi 500 °C yield produk cair berkurang dan disertai dengan kenaikan yield produk gas. Ditunjukkan pula semakin tinggi suhu pirolisis maka semakin banyak bitumen yang terkonversi menjadi produk cair dan produk gas ditunjukkan oleh penurunan jumlah bitumen yang tidak terpirolisis pada **Gambar IV.1.**

Pada suhu pirolisis dibawah 300°C seperti penelitian yang dilakukan oleh Aminati dan Nugroho (2015) dengan suhu pirolisis 200 °C - 300 °C bitumen yang terkonversi menjadi yield produk cair dan yield produk gas masih sangat sedikit. Hal ini menandakan bahwa proses pirolisis bitumen belum terjadi pada suhu dibawah 300°C, penjelasan ini didukung oleh penelitian Lababidi dkk (2014) dimana *asphaltenes* yang merupakan kandungan utama dari bitumen mengalami *cracking* pada suhu 380°C sehingga pada suhu pirolisis yang rendah, *ashphaltenes* yang terkandung dalam bitumen belum mengalami proses cracking.

Dalam penelitian ini, diperoleh %yield produk cair tertinggi sebesar 46.154% yang tercapai pada kondisi suhu pirolisis 450°C. Dimana pada suhu tersebut *asphaltenes* yang terkandung dalam bitumen telah mengalami proses *cracking* menjadi senyawa dengan rantai lebih pendek. Hasil ini juga didukung oleh penelitian yang dilakukan Ma dan Li (2012) yang menyatakan proses *cracking* bitumen menghasilkan produk cair terbanyak pada rentang suhu 380°C – 480°C. Ketika suhu dinaikan diatas 480°C jumlah produk cair yang dihasilkan cenderung konstan dan menghasilkan produk gas lebih banyak. Karena proses *cracking* dari bitumen pada suhu diatas 480°C menghasilkan lebih banyak produk dengan rantai lebih pendek yang tidak dapat terkondensasi pada suhu 25°C.

IV.2. Pengaruh Penambahan Katalis Pada %Yield Produk Cair, Produk Gas, Dan Bitumen Yang Tidak Terpirolisis.

Pengaruh penambahan katalis zeolite alam pada suhu pirolisis 450°C terhadap produk cair, produk gas, dan bitumen yang tidak terpirolisis ditunjukkan pada Gambar IV.2. Pemilihan suhu 450°C dikarenakan pada suhu 450°C diperoleh %yield produk cair tertinggi ketika tanpa dilakukan penambahan katalis pada proses pirolisis.



Gambar IV.2. Grafik pengaruh penambahan katalis zeolit alam dalam proses pirolisis bitumen dalam asbuton pada suhu operasi 450°C

Pada **Gambar IV.2.**, dengan suhu pirolisis 450°C dapat terlihat bahwa penambahan katalis sebanding dengan bertambahnya produk cair yang diperoleh. Disajikan dalam **Gambar IV.2.**, dimana Yield produk cair tertinggi diperoleh saat penambahan 9% katalis yakni sebesar 53.977%. Selain itu, peningkatan jumlah katalis yang digunakan sebanding dengan jumlah bitumen yang terkonversi yang ditunjukkan dengan penurunan jumlah bitumen yang tidak terkonversi. Dalam **Gambar IV.2.** juga ditampilkan bahwa penambahan jumlah produk gas mengalami peningkatan bila ditambahkan katalis dibandingkan dengan penelitian tanpa penambahan katalis. Yield produk gas cenderung konstan ketika jumlah katalis ditambahkan diatas 5% dengan rata-rata 44.26% sedangkan yield produk cair meningkat seiring dengan penambahan katalis.

Zeolit alam sebagai katalis berfungsi sebagai agen selektifitas, sehingga dapat menghasilkan produk sesuai yang dikehendaki. Penambahan katalis dibutuhkan untuk menaikkan jumlah produk cair yang terbentuk dari reaksi pirolisis asbuton. Zeolite alam dipilih sebagai katalis selain dari aspek ekonomi dan mudah didapat, zeolite alam juga memiliki kemampuan memisahkan muatan dimana menghasilkan gradient medan

elektrostatik yang tinggi di dalam rongga yang cukup besar untuk mempolarisasikan ikatana C–H atau mengionisasi ikatan tersebut sehingga membantu mempercepat reaksi cracking dari bitumen dalam asbuton.

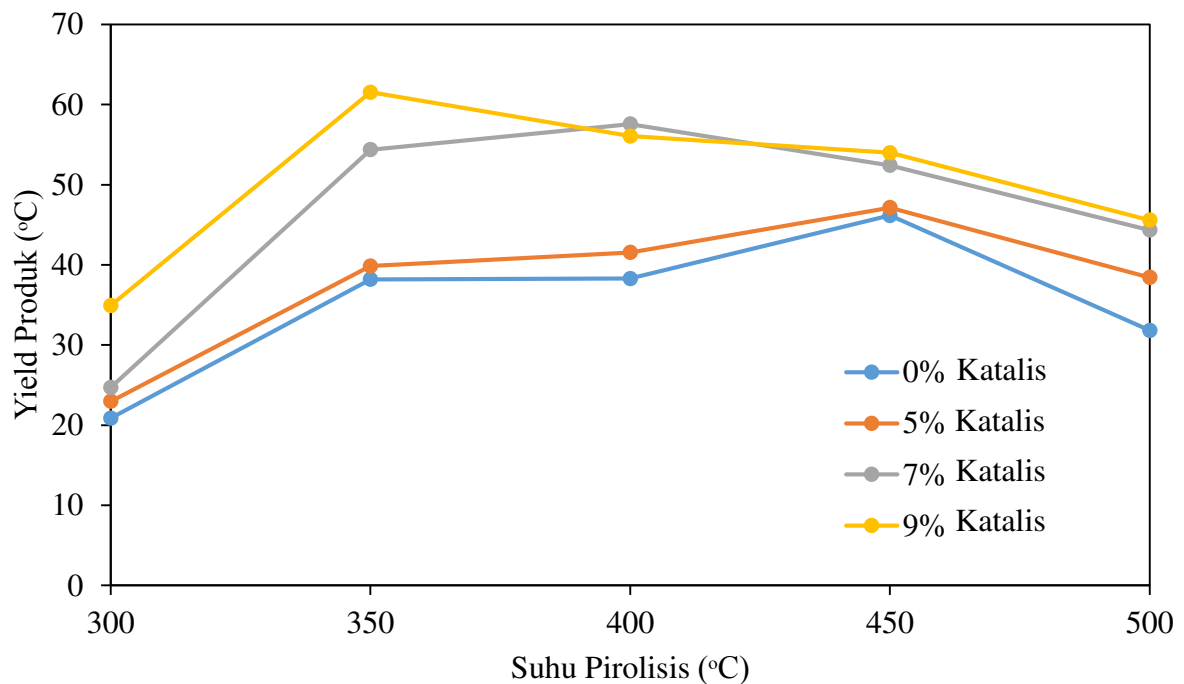
Penambahan katalis mampu meningkatkan selektivitas dari produk cair. Zeolit alam sebagai katalis berfungsi menyaring molekul sehingga dapat mengontrol molekul yang masuk dan keluar dari situs aktif. Katalis zeolit memiliki pori-pori yang sangat kecil (mikropori), sehingga akan mencegah molekul-molekul besar seperti mineral yang terkandung dalam asbuton masuk ke dalam situs aktif. Sehingga mikropori pada katalis terisi oleh bitumen yang akan di-*cracking*.

Dari **Gambar IV.2.** diperoleh %yield produk cair terbesar pada suhu pirolisis 450°C diperoleh ketika penambahan katalis sebanyak 9% sebesar 53.977%. Hasil ini didukung oleh penelitian Lee dan Heo (2011) yang menyatakan bahwa aktivitas katalis menghasilkan produk gas dengan jumlah besar. Gas yang terbentuk dari proses katalitik pirolisis ini dilewatkan kondensor dengan suhu 25°C sehingga gas akan terkondensasi. Semakin banyak jumlah gas yang terbentuk maka semakin banyak gas yang akan terkondensasi ketika melalui kondensor.

Pada **Gambar IV.2.** menunjukkan bahwa penambahan jumlah katalis sebanding dengan berkurangnya jumlah bitumen yang tidak terpirolisis. Hal ini disebabkan karena penambahan jumlah katalis menyebabkan semakin banyak jumlah situs aktif yang terisi oleh bitumen, sehingga semakin banyak bitumen yang berkontak dengan situs aktif pada katalis dan mengalami proses cracking. Diperoleh jumlah bitumen yang tidak terpirolisis pada suhu 450°C terkecil sebesar 1.55% pada penambahan katalis 9%.

IV.3. Pengaruh Suhu Pirolisis Dan Jumlah Penambahan Katalis Pada %Yield Produk Cair.

Produk cair hasil proses cracking diharapkan menghasilkan yield tertinggi guna memperoleh bahan bakar cair dengan jumlah yang banyak. Oleh karena itu pada **Gambar IV.3.** akan dijelaskan pengaruh suhu pirolisis dan jumlah penambahan katalis zeolit guna mendapatkan produk cair dari hasil proses cracking bitumen yang terkandung dalam asbuton.



Gambar IV.3. Grafik pengaruh penambahan katalis pada tiap suhu pirolisis terhadap yield produk cair pada tiap penambahan katalis

Pada **Gambar IV.3.** dapat ditunjukkan bahwa semakin banyak jumlah katalis yang digunakan maka semakin besar yield produk cair yang dihasilkan. Seperti pada **Gambar IV.3.** yield produk cair terbesar dicapai pada kondisi suhu pirolisis 350°C dengan penambahan 9% katalis yakni sebesar 61.531% dan akan menurun ketika suhu pirolisis dinaikan diatas 350°C. Begitupula dengan penggunaan jumlah katalis lainnya. Yield produk cair akan meningkat hingga suhu optimal untuk mencapai %yield produk cair terbesar sesuai yang disajikan pada **Tabel IV.1.** dan akan kembali turun ketika suhu pirolisis yang digunakan dinaikan. Pada **Tabel IV.1.** dan **Gambar IV.3.** ditunjukkan bahwa peningkatan penggunaan katalis akan menurunkan suhu optimal pirolisis guna mendapatkan %yield produk cair tertinggi

Tabel IV.1. Suhu pirolisis terbaik untuk memperoleh yield cair tertinggi tiap penambahan jumlah katalis pada proses pirolisis bitumen dalam asbuton

Persentase Katalis	Suhu Pirolisis Optimal	% Yield Produk Cair
0%	450°C	46.154
5%	450°C	47.131
7%	400°C	57.575
9%	350°C	61.531

Peran katalis ini juga dibantu suhu operasi pirolisis seperti yang disebutkan pada penelitian Liu dkk (2014) dimana bitumen mulai terurai pada suhu 200°C. Proses pirolisis menjadikan bitumen yang terdapat dalam asbuton ter-*cracking* menjadi produk bahan bakar cair.

Pada **Gambar IV.3.** dapat dijelaskan bahwa penambahan katalis sebanding dengan penurunan suhu pirolisis guna mendapatkan %yield produk cair yang maksimal seperti yang ditampilkan pada **Tabel IV.1.** Dalam jurnal yang ditulis oleh Vamvuka (2011), dijelaskan bahwa proses pirolisis bitumen dengan suhu mencapai 600°C akan menghasilkan bahan tahan panas (fase gas atau hidrokarbon rantai pendek). Karena adanya penambahan katalis maka semakin kecil suhu pirolisis yang dibutuhkan untuk meng-*cracking* bitumen menjadi hidrokarbon rantai pendek yang tidak dapat terkondensasi.

Pada jurnal yang ditulis oleh Vamvuka (2011), dijelaskan pula bahan-bahan jenis aspal akan terpirolisis menjadi minyak dan gas pada rentang suhu 400°C – 420°C. Labadidi dkk (2014) juga menyebutkan bahwa *asphalthene* yang merupakan kandungan utama bitumen akan mengalami *cracking* pada suhu 380°C. Namun dengan penambahan katalis zeolit sebesar 9% *asphaltenes* telah dapat ter-*cracking* pada suhu 350°C. Hal ini dapat dikarenakan kehadiran katalis dapat menurunkan energi yang diperlukan untuk meng-*cracking* bitumen.

Dalam penelitian yang dilakukan Ma dan Li (2014) dikatakan bahwa proses *cracking* bitumen menghasilkan produk cair terbanyak pada suhu 380°C – 480°C. Dalam **Tabel IV.1.** Dapat terlihat %Yield tertinggi pada tiap penambahan katalis berada pada rentang 380°C – 480°C. Dalam penelitian ini dapat dilihat bahwa kondisi terbaik untuk mendapatkan %yield produk cair tertinggi dengan melakukan pirolisis bitumen yang

terkandung dalam asbuton adalah pada suhu 350°C dengan katalis sebanyak 9% dengan %yield produk cair sebesar 61.531%.

APPENDIKS A

CARA PERHITUNGAN

1. Perhitungan Kadar Bitumen Awal dalam Asbuton

Untuk menentukan kadar bitumen awal pada asbuton dilakukan ekstraksi asbuton selama 12 jam dengan suhu $\pm 70^{\circ}\text{C}$, menggunakan rangkaian alat ekstraksi soklet dengan pelarut Trichloroethylene (TCE).

Contoh perhitungan:

Massa Asbuton awal

Volume TCE ; T (suhu) operasi = ± 400 ml ; $\pm 70^{\circ}\text{C}$

Massa kertas saring

Mineral + kertas saring (setelah proses ekstraksi dan di oven)

Mineral kering (setelah diekstrak dan di oven)

Bitumen Terekstrak = Berat Asbuton – Berat Mineral

$$\text{Kadar Bitumen} = \frac{\text{Massa Bitumen Terekstrak}}{\text{Massa Asbuton}} \times 100\% \quad (\text{A-1})$$

Analisa kadar bitumen awal dilakukan sebanyak 3 kali kemudian dirata – rata.

2. Perhitungan Penambahan Katalis

Katalis = 1% dari berat sampel Asbuton

$$\text{Kebutuhan katalis} = 5 \% \times 228 \text{ gram} = 11,4 \text{ gram}$$

3. Perhitungan Persen (%) Yield Produk

Perhitungan persen (%) yield produk tiap produk menggunakan perhitungan neraca massa dengan rumus dibawah ini:

$$\% \text{ Yield produk} = \frac{\text{massa produk}}{\text{massa asbuton}} \times 100\% \quad (\text{A-2})$$

4. Perhitungan Persen (%) Konversi Bitumen

$$\% \text{ Konversi bitumen} = \frac{\text{massa produk cair}}{\text{massa bitumen dalam asbuton}} \times 100\% \quad (\text{A-3})$$

APPENDIKS B
DATA HASIL PERHITUNGAN

Tabel B.1 Hasil pengujian kadar bitumen

No	Keterangan	Hasil Ekstraksi 1	Hasil Ekstraksi 2
A	Berat Asbuton Awal	30,05 gram	30 gram
B	Jumlah Pelarut TCE	400 ml	320 ml
C	Kadar Air Dalam Asbuton	1,05 %	1,23 %
D	Berat Asbuton Akhir	23,86 gram	23,5 gram
E	Berat Bitumen Dalam Asbuton	6,19 gram	6,5 gram
F	% Berat Bitumen	20,59 %	21,67 %
G	Rata-Rata %Bitumen	21,13 %	

Tabel B.2 Hasil percobaan pirolisis bitumen dalam asbuton

	Suhu Pirolisis	300	350	400	450	500
	Penambahan Katalis	-	-	-	-	-
A	Berat Gelas Stainless Steel (gram)	911,96	911,45	911,78	911,88	911,69
b	Berat Erlenmeyer Kosong (gram)	319,53	319,61	319,77	319,75	319,58
c	Berat Asbuton (gram)	228,05	228,03	228,02	228,05	228,09
d	Berat tempat sampel + asbuton sebelum pirolisis (a+c) (gram)	1140,01	1139,48	1139,8	1139,93	1139,78
e	Berat tempat sampel + asbuton setelah pirolisis (gram)	1117,23	1099,97	1097,51	1098,49	1096,54
f	Berat erlenmeyer + produk (gram)	329,59	338,01	338,22	341,99	334,91
g	Berat sisa padatan (e-a) (gram)	205,27	188,52	185,73	186,61	184,85
h	Berat Produk cair (f-b) (gram)	10,06	18,4	18,45	22,24	15,33
i	Berat produk gas (c-(g+h)) (gram)	12,72	21,11	23,84	19,2	27,91

	Suhu Pirolisis	300	350	400	450	500
	Penambahan Katalis	5%	5%	5%	5%	5%
a	Berat Gelas Stainless Steel (gram)	911,57	911,78	911,46	911,32	911,58
b	Berat Erlenmeyer Kosong (gram)	319,6	319,45	319,78	319,76	319,73
c	Berat Asbuton (gram)	228,06	228,05	228,04	228,04	228,05
d	Berat tempat sampel + asbuton sebelum pirolisis (a+c) (gram)	1139,63	1139,83	1139,5	1139,36	1139,63
e	Berat tempat sampel + asbuton setelah pirolisis (gram)	1102,39	1096,52	1095,77	1095,13	1092,53
f	Berat erlenmeyer + produk (gram)	330,67	338,65	339,8	342,47	338,25
g	Berat sisa padatan (e-a) (gram)	190,82	184,74	184,31	183,81	180,95
h	Berat Produk cair (f-b) (gram)	11,07	19,2	20,02	22,71	18,52
i	Berat produk gas (c-(g+h)) (gram)	26,17	24,11	23,71	18,52	28,58

	Suhu Pirolisis	300	350	400	450	500
	Penambahan Katalis	7%	7%	7%	7%	7%
a	Berat Gelas Stainless Steel (gram)	911,89	911,63	911,6	911,24	911,57
b	Berat Erlenmeyer Kosong (gram)	319,24	319,61	319,28	319,33	319,42
c	Berat Asbuton (gram)	228,07	228,02	228,02	228,05	228,06
d	Berat tempat sampel + asbuton sebelum pirolisis (a+c) (gram)	1139,96	1139,65	1139,62	1139,29	1139,63
e	Berat tempat sampel + asbuton setelah pirolisis (gram)	1102,76	1095,93	1095,6	1092,88	1093,08
f	Berat erlenmeyer + produk (gram)	331,15	345,81	347,02	344,58	340,79
g	Berat sisa padatan (e-a) (gram)	190,87	184,3	184,00	181,64	181,51
h	Berat Produk cair (f-b) (gram)	11,91	26,2	27,74	25,25	21,37
i	Berat produk gas (c-(g+h)) (gram)	25,29	17,52	16,28	21,16	25,18

	Suhu Pirolisis	300	350	400	450	500
	Penambahan Katalis	9%	9%	9%	9%	9%
a	Berat Gelas Stainless Steel (gram)	911,34	911,28	91,76	911,47	911,92
b	Berat Erlenmeyer Kosong (gram)	319,58	319,82	319,6	319,26	319,48
c	Berat Asbuton (gram)	228,03	228,05	228,06	228,05	228,02
d	Berat tempat sampel + asbuton sebelum pirolisis (a+c) (gram)	1139,37	1139,33	319,82	1139,52	1139,94
e	Berat tempat sampel + asbuton setelah pirolisis (gram)	1102,29	1094,6	273,83	1092,08	1092,36
f	Berat erlenmeyer + produk (gram)	336,41	349,47	346,61	345,27	341,44
g	Berat sisa padatan (e-a) (gram)	190,95	183,32	182,07	180,61	180,44
h	Berat Produk cair (f-b) (gram)	16,83	29,65	27,01	26,01	21,96
i	Berat produk gas (c-(g+h)) (gram)	20,25	15,08	18,98	21,43	25,62

Tabel B.3 Hasil pehitungan persen (%) yield produk terhadap massa asbuton tanpa menggunakan katalis

Suhu (°C)	Massa Produk (gram)			Total Produk (A+B+C) (gram)	Persen (%) Yield			Total (E+F+G)
	Padat	Cair	Gas		Sisa Padat (A/D)*100%	Cair (B/D)*100%	Gas (C/D)*100%	
	A	B	C		E	F	G	
300	205,27	10,06	12,72	228,05	90,011	4,411	5,578	100%
350	188,52	18,4	21,11	228,03	82,673	8,069	9,258	100%
400	185,73	18,45	23,84	228,02	81,453	8,091	10,455	100%
450	186,61	22,24	19,2	228,05	81,829	9,752	8,419	100%
500	184,85	15,33	27,91	228,09	81,043	6,721	12,236	100%

Tabel B.4 Hasil pehitungan persen (%) yield produk terhadap massa asbuton dengan menggunakan katalis 5%

Suhu (°C)	Massa Produk (gram)			Total Produk (A+B+C) (gram)	Persen (%) Yield			Total (E+F+G)
	Padat	Cair	Gas		Sisa Padat (A/D)*100%	Cair (B/D)*100%	Gas (C/D)*100%	
	A	B	C		E	F	G	
300	190,82	11,07	26,17	228,06	83,035	4,855	12,110	100%
350	184,74	19,2	24,11	228,05	80,368	8,421	11,211	100%
400	184,31	20,02	23,71	228,04	80,224	8,781	10,996	100%
450	183,81	22,71	21,52	228,04	79,522	9,961	10,518	100%
500	180,95	18,52	28,58	228,05	78,706	8,123	13,171	100%

Tabel B.5 Hasil perhitungan persen (%) yield produk terhadap massa asbuton dengan menggunakan katalis 7%

Suhu (°C)	Massa Produk (gram)			Total Produk (A+B+C) (gram)	Persen (%) Yield			Total (E+F+G)
	Padat	Cair	Gas		Sisa Padat (A/D)*100%	Cair (B/D)*100%	Gas (C/D)*100%	
	A	B	C		E	F	G	
300	190,87	11,91	25,29	228,07	83,71	5,22	11,06	100%
350	184,3	26,2	17,52	228,02	80,83	11,49	7,68	100%
400	184	27,74	16,28	228,02	77,25	9,24	13,50	100%
450	181,64	25,25	21,16	228,05	78,66	8,86	12,48	100%
500	181,51	21,37	25,18	228,06	74,68	7,29	18,04	100%

Tabel B.6 Hasil perhitungan persen (%) yield produk terhadap massa asbuton dengan menggunakan katalis 9%

Suhu (°C)	Massa Produk (gram)			Total Produk (A+B+C) (gram)	Persen (%) Yield			Total (E+F+G)
	Padat	Cair	Gas		Sisa Padat (A/D)*100%	Cair (B/D)*100%	Gas (C/D)*100%	
	A	B	C		E	F	G	
300	190,95	16,83	20,25	228,03	83,739	7,381	8,880	100%
350	183,32	29,65	15,08	228,05	80,386	13,002	6,613	100%
400	182,07	27,01	18,98	228,06	79,834	11,843	8,322	100%
450	180,61	26,01	21,43	228,05	79,198	11,405	9,397	100%
500	180,44	21,96	25,62	228,02	79,133	9,631	11,236	100%

Tabel B.7 Hasil perhitungan persen (%) yield produk terhadap massa bitumen tanpa menggunakan katalis

Suhu (°C)	Berat Asbuton (gram)	Berat Bitumen dalam Asbuton (21,13%*A) (gram)	Massa Bitumen (gram)			%Yield Terhadap Bitumen			TOTAL %Yield Bitumen (F+G+H)
			Produk Cair	Produk Gas	Tidak Terpirolisis	Produk Cair (C/B * 100%)	Produk Gas (D/B * 100%)	Tidak Terpirolisis (E/B * 100%)	
			C	D	E	F	G	H	
300	228,05	48,187	10,06	12,72	25,407	20,877	26,397	52,726	100%
350	228,03	48,183	18,4	21,11	8,673	38,188	43,812	18,000	100%
400	228,02	48,181	18,45	23,84	5,891	38,293	49,480	12,226	100%
450	228,05	48,187	22,24	19,2	6,747	46,154	39,845	14,002	100%
500	228,09	48,195	15,33	27,91	4,955	31,808	57,910	10,282	100%

Tabel B.8 Hasil perhitungan persen (%) yield produk terhadap massa bitumen dengan menggunakan katalis 5%

Suhu (°C)	Berat Asbuton (gram)	Berat Bitumen dalam Asbuton (21,13% * A) (gram)	Massa Bitumen (gram)			%Yield Terhadap Bitumen			TOTAL %Yield Bitumen (F+G+H)
			Produk Cair	Produk Gas	Tidak Terpirolisis	Produk Cair (C/B * 100%)	Produk Gas (D/B * 100%)	Tidak Terpirolisis (E/B * 100%)	
			C	D	E	F	G	H	
300	228,06	48,189	11,07	26,17	10,949	22,972	54,307	22,721	100%
350	228,05	48,187	19,2	24,11	4,877	39,845	50,034	10,121	100%
400	228,04	48,185	20,02	23,71	4,455	41,548	49,206	9,245	100%
450	228,04	48,185	22,71	21,52	3,955	47,131	44,661	8,208	100%
500	228,05	48,187	18,52	28,58	1,087	38,434	59,311	2,256	100%

Tabel B.9 Hasil perhitungan persen (%) yield produk terhadap massa bitumen dengan menggunakan katalis 7%

Suhu (°C)	Berat Asbuton (gram)	Berat Bitumen dalam Asbuton (21,13% * A) (gram)	Massa Bitumen (gram)			%Yield Terhadap Bitumen			TOTAL %Yield Bitumen (F+G+H)
			Produk Cair	Produk Gas	Tidak Terpirolisis	Produk Cair (C/B * 100%)	Produk Gas (D/B * 100%)	Tidak Terpirolisis (E/B * 100%)	
	A	B	C	D	E	F	G	H	
300	228,07	48,191	11,91	25,29	10,991	24,714	52,478	22,807	100%
350	228,02	48,181	26,2	17,52	4,461	54,379	36,363	9,258	100%
400	228,02	48,181	27,74	16,28	4,161	57,575	33,790	8,635	100%
450	228,05	48,187	25,25	21,16	1,777	52,400	43,912	3,688	100%
500	228,06	48,189	21,37	25,18	1,639	44,346	52,253	3,401	100%

Tabel B.10 Hasil perhitungan persen (%) yield produk terhadap massa bitumen dengan menggunakan katalis 9%

Suhu (°C)	Berat Asbuton (gram)	Berat Bitumen dalam Asbuton (21,13% * A) (gram)	Massa Bitumen (gram)			%Yield Terhadap Bitumen			TOTAL %Yield Bitumen (F+G+H)
			Produk Cair	Produk Gas	Tidak Terpirolisis	Produk Cair (C/B * 100%)	Produk Gas (D/B * 100%)	Tidak Terpirolisis (E/B * 100%)	
	A	B	C	D	E	F	G	H	
300	228,03	48,183	16,83	20,25	11,103	34,930	42,027	23,043	100%
350	228,05	48,187	29,65	15,08	3,457	61,531	31,295	7,174	100%
400	228,06	48,189	27,01	18,98	2,199	56,050	39,387	4,563	100%
450	228,05	48,187	26,01	21,43	0,747	53,977	44,473	1,550	100%
500	228,02	48,181	21,96	25,62	0,601	45,578	53,175	1,247	100%

BAB V

KESIMPULAN

V.1. Kesimpulan

1. Pada proses pirolisis tanpa penambahan katalis peningkatan suhu pirolisis sebanding dengan kenaikan yield produk cair hingga suhu 450°C dengan persentase yield produk cair sebesar 46.154%. Ketika suhu pirolisis dinaikan yield produk cair akan menurun dan diiringi dengan peningkatan yield produk gas. Kenaikan suhu pirolisis sebanding dengan jumlah bitumen yang terkonversi.
2. Penggunaan zeolit alam sebagai katalis pada proses pirolisis bitumen dalam asbuton pada suhu 450°C akan meningkatkan yield produk cair tiap penambahan jumlah katalis. Peningkatan jumlah katalis yang digunakan juga akan meningkatkan jumlah bitumen yang terkonversi. Yield produk cair tertinggi dicapai dengan penambahan 9% katalis sebesar 53.977%. Sedangkan penambahan katalis akan meningkatkan yield produk gas hingga dengan penambahan katalis sebanyak 5%. Apabila jumlah katalis ditambah, jumlah gas yang dihasilkan cenderung konstan dengan rata-rata 44.26%.
3. Yield produk cair tertinggi yang diperoleh pada tiap suhu bergantung pada jumlah penambahan katalis. Semakin banyak katalis yang digunakan semakin kecil suhu yang diperlukan untuk mencapai yield produk cair yang paling optimal. Apabila suhu pirolisis ditingkatkan diatas suhu optimalnya maka yield produk cair akan menurun. Yield produk cair tertinggi sebesar 61.531% diperoleh dalam kondisi suhu pirolisis 350°C dengan penambahan 9% katalis.

V.2. Saran

1. Perlu dilakukan analisa karakterisasi produk cair dan produk gas guna mengetahui lebih jelas komponen yang terdapat dalam produk
2. Perlu dicoba variasi katalis yang digunakan dalam proses katalitik pirolis untuk melakukan pirolisis bitumen yang terkandung dalam asbuton.
3. Perlu dilakukan agitasi dengan impeller ketika proses pirolisis berlangsung untuk memaksimalkan pencampuran katalis dan pemerataan distribusi panas ketika proses pirolisis berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, F. (2006). *Hasil Pemurnian Asbuton Lawele Sebagai Bahan Pada Campuran Beraspal Untuk Perkerasan Jalan*. Jurnal Jalan – Jembatan, Vol 23 No.3.
- Aminati, I. S., Nugroho, A. (2016). “*Proses Katalitik Pirolisis untuk Cracking Bitumen dari Asbuton dengan Katalis Zeolit Alam*”. Skripsi S1 Teknik Kimia ITS: Surabaya.
- Departemen Pekerjaan Umum: Direktorat Jenderal Bina Marga. (2006). “*Pemanfaatan Asbuton*”. Pedoman Konstruksi dan bangunan No.001–01/BM/2006.
- Dickerson, T., & Soria, J. (2013). *Catalytic Fast Pyrolysis: A Review*, 514–538.
- Fatimah & Nugraha, J. (2005). “*Identifikasi Hasil Pirolisis Serbuk Kayu Jati Menggunakan Principal Component Analysis*”. Jurnal ILMU DASAR vol. 6 No. 1: 41-47.
- Goyal, H. B., Seal, D., & Saxena, R. C. Ñ. (2008). *Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources : a review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 12:504-517
- Hardono. (1998). “*Preparasi CuO/Zeorit Alam Lampung dengan Impregnasi Menggunakan Larutan CuSO₄.5H₂O serta Karakteristik Untuk Eliminasi Gas Buang Sox*”. Skripsi S1 Teknik Kimia UI: Depok.
- Junaid, A. S. M., Yin, H., Koenig, A., Swenson, P., Chowdhury, J., Burland, G., Kuznicki, S. M. (2009). *Natural zeolite catalyzed cracking-assisted light hydrocarbon extraction of bitumen from Athabasca oilsands*. Applied Catalysis A : General 354, 44–49.
- Lababidi, H. M. S., Sabti, H. M., & Alhumaidan, F. S. (2014). *Changes in asphaltenes during thermal cracking of residual oils*. Fuel, 117, 59–67.
- Lee, S, H., Heo H, S., Jeong, K, E., Yim, J, H., Jeon, J, K., Jung, K, Y., Ko, Y, S. (2011). “*Catalytic Pyrolysis of Oilsand Bitumen over Nanoporous Catalyst*”. Journal of Nanoscience and Nanotechnology. Vol. 11. 759-762.

- Lestari, Dewi Yuanita. (2010). *Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara*. Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia. ISBN:978
- Liu, P., Zhu, M., Zhang, Z., Wan, W., & Yani, S. (2014). *Thermogravimetric Studies of Characteristics and Kinetics of Pyrolysis of Buton Oil Sand*. Energy Procedia, 61, 2741–2744.
- Ma, Y., & Li, S. (2012). *The Pyrolysis, extraction and kinetics of Buton oil sand bitumen*. Fuel Processing Technology, 100, 11–15.
- Nuryanto, A., (2009). *Aspal Buton (Asbuton) sebagai Bahan Bakar Roket Padat*. Jurnal Teknologi Dirgantara, Vol 7, 1, 39 – 45.
- Paris, O., Zollfrank, C., & Zickler, G. A. (2005). *Decomposition and carbonisation of wood biopolymers — a microstructural study of softwood pyrolysis*, 43, 53–66.
- Philips C., Haidar N., Poon YC. (2008). *Kinetics Models For the Thermal Cracking of Athabasca Bitumen*. The Effect of the Sand Matrix. Fuel. 87:1585-1590
- Rumanto, B. (1989). “*Pemanfaatan Aspal Buton (Asbuton) Ditinjau dari Aspek Penerapan Konstruksi Jalan raya*”. Majalah Badan Pengkajian dan Terapan Teknologi (BPPT), No. XXXII/1989, 121-131.
- Siddiqui, Mohammad, N., (2010). “*Catalytic Pyrolysis of Arab Heavy Residue and Effects on the Chemistry of Asphaltene*”. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 89, 2010, 278-285.
- Togar, Yan Mulders. (2012). “*Preparasi Katalis Praseodimium Oksida/Zeolit Klipnotilolit Aktif untuk Meningkatkan Bilangan Okatana pada Gasolin*”. Skripsi S1 Teknik Kimia UI: Depok.
- Vamvuka. (2011) *Bio-Oil, Solid and Gaseous Biofuels from Biomass Pyrolysis Process – An Overview*. International Journal of Energy Research. 35:835-862
- Zhao, Y., & Yu, Y. (2011). *Kinetics of asphaltene thermal cracking and catalytic hydrocracking*. Fuel Processing Technology, 92:977–982.

Riwayat Penulis



Eldira Nindri Wena Pertami, lahir di Gresik pada tanggal 30 Desember 1993. Anak pertama dari dua bersaudara. Memulai pendidikan formal di SD Muhammadiyah 2 Gresik dan lulus pada tahun 2006. Lalu melanjutkan tingkat menengah di SMPN 1 Gresik lalu SMAN 1 Gresik. Penulis kemudian

melanjutkan studi tingkat sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Jurusan Teknik Kimia. Dalam melaksanakan studi S1 penulis melakukan kerja praktik di PT. Badak NGL, Bontang – Kalimantan Timur dan menyelesaikan Tugas Pra Desain Pabrik dengan judul “Pabrik Natrium Karbonat (Soda Abu) dengan Proses Solvay”. Diluar aktivitas akademis, penulis juga aktif dalam organisasi diantaranya sebagai *Secretary of Public Relations and Communication Department* HIMATEKK dan Pemandu FTI. Terima kasih penulis ucapkan kepada seluruh pihak yang telah membantu terselesaikannya buku ini. Semoga apa yang telah dicapai dapat dimanfaatkan sebaik-baiknya.

Hormat Saya,
Eldira Nindri Wena Pertami
eldira.wena@gmail.com



Riwayat Penulis

Azka Afuza faris Nugroho, lahir di Bogor pada tanggal 30 September 1993. Anak pertama dari dua bersaudara. Memulai pendidikan formal di SDN Panaragan I Kota Bogor dan lulus pada tahun 2006 dan sempat bersekolah di De Nude School Wageningen pada tahun 2002-2004. Lalu melanjutkan tingkat menengah di SMPN 1 Kota Bogor lalu SMAN 3 Kota Bogor. Penulis kemudian melanjutkan studi tingkat sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Jurusan Teknik Kimia. Dalam melaksanakan studi S1 penulis melakukan kerja praktik di PT. Kaltim Prima Coal, Sanggata dan menyelesaikan Tugas Pra Desain Pabrik dengan judul “Pabrik Natrium Karbonat (Soda Abu) dengan Proses Solvay”. Diluar aktivitas akademis, penulis juga aktif dalam organisasi diantaranya sebagai *Head of Social Development Department* HIMATEKK dan Pemandu FTI. Terima kasih penulis ucapkan kepada seluruh pihak yang telah membantu terselesainya buku ini. Semoga apa yang telah dicapai dapat dimanfaatkan sebaik-baiknya.

Hormat Saya,
Azka Afuza Faris Nugroho
Azka.afuza@gmail.com